



MAPEAMENTO CIENTÍFICO DE BIOSSURFACTANTES E SUA APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA COSMÉTICA

Izabella Braga Gomes

Maria de Fatima Pires Maxiqueira

Projeto Final do Curso de Química Industrial

Orientadores:

Élcio Ribeiro Borges, *D.Sc.* Escola de Química/UFRJ

Andréa Medeiros Salgado, *D.Sc.* Escola de Química/UFRJ

Julho de 2025

MAPEAMENTO TECNOLÓGICO DE BIOSSURFACTANTES PARA FINS COSMÉTICO

Izabella Braga Gomes
Maria de Fatima Pires Maxiqueira

Projeto Final de Curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Química Industrial.

Aprovado por:

Daniel Tinôco Campos Neto, *D.Sc.*

Danielle da Silveira dos Santos Martins, *D.Sc.*

Renato Cerqueira Guarçoni Baêso, *D.Sc.*

Orientado por:

Élcio Ribeiro Borges, *D.Sc.*

Andréa Medeiros Salgado, *D.Sc.*

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Julho de 2025

Ficha Catalográfica

GOMES, Izabella Braga; MAXIQUEIRA, Maria de Fátima

Mapeamento tecnológico de Biossurfactantes para fins cosmético/ Izabella Braga Gomes; Maria de Fatima Pires Maxiqueira. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2025.
XIII, 62 p.; 28il.

(Monografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2025.

Orientadores: Elcio Ribeiro Borges e Andréa Medeiros Salgado

1. Biossurfactantes. 2. Mapeamento Tecnológico 3. Artigos científicos. 4. Monografia. (Graduação – UFRJ/EQ). 5. Élcio Ribeiro Borges e Andréa Medeiros Salgado. I. Mapeamento tecnológico de Biossurfactantes para fins cosmético.

“A persistência é o caminho do êxito.”
(Charlie Chaplin)

AGRADECIMENTOS

Às nossas famílias pelo amor, cuidado e suporte de todos os dias.
Nos motivam todos os dias a seguir em frente.

Resumo do Projeto Final de Curso apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para conclusão do curso de Química Industrial.

MAPEAMENTO TECNOLÓGICO DE BIOSSURFACTANTES PARA FINS COSMÉTICO

Izabella Braga Gomes

Maria de Fatima Pires Maxiqueira

Julho, 2025

Orientadores: Elcio Ribeiro Borges, *D.Sc.* Escola de Química/UFRJ

Andréa Medeiros Salgado, *D.Sc.* Escola de Química/UFRJ

Os biossurfactantes ganham cada vez notoriedade, uma vez que se apresentam como substituição promissora frente aos surfactantes sintéticos, cuja origem é petroquímica. Por apresentarem características como baixa toxicidade, alta biodegradabilidade e obtenção por substratos renováveis, a indústria de cosméticos se movimenta para ter alternativas aos tensoativos convencionais que são responsáveis pelas funcionalidades cosméticas principais. Devido a relevância temática, o presente trabalho foi concebido mediante a adoção da metodologia de mapeamento tecnológico, que através de um recorte temporal, levanta a produção científica mundial acerca do tema. A busca por artigos científicos foi realizada através da base de dados SCOPUS, referentes aos anos de 2014 a 2024, correlacionando as pesquisas sobre o uso de biossurfactantes às aplicações cosméticas, e as tendências acerca das movimentações científicas. A partir dessa metodologia de prospecção, foram analisados 83 artigos. A coleta e análise dos artigos obtidos elucidou que os últimos 10 anos contribuíram significativamente para a construção de autoridade no assunto entre a comunidade científica. Esse movimento pavimentou espaço para aplicações em formulações cosméticas, tanto para pele quanto para cabelo, mas identificou-se uma lacuna em relação à

escalabilidade, a qual se encontra majoritariamente ainda em laboratórios, mostrando o desafio de produzi-los industrialmente. Além disso, elucidaram a força da Índia e do Japão na pesquisa e desenvolvimento mundial. Ainda que exista um caminho a ser percorrido acerca da temática na última década, sob a luz das análises das Classes nível Macro, Meso e Micro, pode-se representar um passo importante para uma abordagem estratégica para o desenvolvimento de trabalhos futuros, em que os pesquisadores se sintam desafiados a ampliar os estudos envolvendo uso de biossurfactantes, catalisando a transformação da indústria cosméticas.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	13
1.1 INTRODUÇÃO.....	14
1.2 JUSTIFICATIVA.....	15
1.3 OBJETIVO GERAL.....	16
CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1 BIOSSURFACTANTES.....	17
2.1.1 CONCEITO.....	17
2.1.2 CLASSIFICAÇÃO DOS BIOSSURFACTANTES.....	18
2.1.2.1 Biossurfactantes de origem vegetal.....	18
2.1.2.2 Biossurfactantes de origem microbiana.....	19
2.1.2.2.1 Glicolípidos.....	21
2.1.2.2.2 Lipopeptídeos.....	22
2.1.2.2.3 Ácidos Graxos e Fosfolípidos.....	22
2.1.2.2.4 Biossurfactantes poliméricos.....	23
2.1.2.2.5 Biossurfactantes particulados.....	24
2.1.3 Cultivo e produção.....	25
2.2 APLICAÇÕES DE BIOSSURFACTANTES EM FORMULAÇÕES COSMÉTICAS....	26
2.2.1 Principais propriedades funcionais.....	26
2.3 BIOSSURFACTANTES COMO UMA ALTERNATIVA AOS SURFACTANTES SINTÉTICOS.....	28
2.3.1 Contexto ambiental.....	28
2.3.2 Maior conscientização e segurança dos consumidores.....	28
2.3.3 Dificuldade de Scale-up.....	29
2.4 PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA.....	29
2.4.1 Fase 1: PREPARATÓRIA:.....	32
2.4.2 Fase 2: PRÉ-PROSPECTIVA:.....	32
2.4.3 Fase 3 e 4: PROSPECTIVA E PÓS-PROSPECTIVA:.....	32
2.5 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	33
CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA DE PESQUISA.....	34
3.1 METODOLOGIA DE PESQUISA.....	34
3.2.1 Estratégias de Busca de Artigos Científicos.....	34
3.2.2 Elaboração das análises.....	35
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
4.1 ARTIGOS CIENTÍFICOS PUBLICADOS.....	39
4.2 RESULTADOS NÍVEL MACRO DOS ARTIGOS.....	40
4.3 RESULTADOS NÍVEL MESO DOS ARTIGOS.....	48
4.4 RESULTADOS NÍVEL MICRO DOS ARTIGOS.....	50
4.4.1 CLASSE E ORIGEM DOS BIOSSURFACTANTES.....	51
4.4.2 MEIOS DE PRODUÇÃO DOS BIOSSURFACTANTES.....	53
4.4.3 TÉCNICAS DE PRODUÇÃO E OBTENÇÃO DOS BIOSSURFACTANTES.....	54

	10
4.4.4 PROPRIEDADES DOS BIOSSURFACTANTES.....	56
4.4.5 APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA COSMÉTICA DOS BIOSSURFACTANTES.....	57
4.4.6 ESCALAS DAS PESQUISAS DOS BIOSSURFACTANTES.....	58
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO.....	59
CAPÍTULO 6 – REFERÊNCIAS.....	61

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Representa um monômero com uma cabeça hidrofílica e uma cauda hidrofóbica... 18	
Figura 2 - Estruturas comuns de representantes do grupo de Glicolípidos: Ramnolipídeos, Treololipídeos e Soforolipídeos.....	21
Figura 3 - Estrutura do lipopeptídeo cíclico surfactina produzido por Bacillus subtilis.....	22
Figura 4 - Estrutura de uma fosfatidiletanolamina. R1 e R2 representam cadeias hidrocarbonadas de ácidos graxos.....	23
Figura 5 - Estrutura de um emulsan produzido por Acinetobacter calcoaceticus.....	24
Figura 6 - Objetivos da Prospecção Tecnológica.....	31
Figura 7 - Sequência de fases a serem adotadas para a execução, organização e conclusão da prospecção tecnológica. Fonte: BAHRUTH et al., 2006.....	31
Figura 8 - Artigos relevantes e descartados retirados da base SCOPUS.....	39
Figura 9 - Evolução temporal do número de artigos publicados.....	41
Figura 10 - Países produtores de publicações no intervalo temporal de 2014 a 2024.....	42
Figura 11 - Parcerias entre os países.....	43
Figura 12 - Origem dos artigos publicados.	44
Figura 13 - País de origem e a frequência de universidades que publicaram entre 2014 a 2024.....	45
Figura 14 - Participação dos artigos da taxonomia da análise do nível Meso.....	49
Figura 15 - Evolução temporal da classificação do nível Meso.....	50
Figura 16 - Classificação dos Biossurfactantes.....	51
Figura 17 - Agentes de produção dos Biossurfactantes.....	52
Figura 18 - Meios de produção utilizados no cultivo de Biossurfactantes.....	54
Figura 19 - Técnicas de produção dos Biossurfactantes.....	55
Figura 20 - Técnicas utilizadas na obtenção dos biossurfactantes.....	55
Figura 21 - Propriedades mais comuns nos Biossurfactantes.....	57
Figura 22 - Aplicação nas Indústria cosmética.....	58
Figura 23 - Escala das pesquisas dos biossurfactantes.....	59

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1- Países com mais Universidades recorrentes entre 2014 a 2024.....	42
--	----

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação de Biossurfactantes.....	17
Quadro 2 - Fatores físico-químicos que afetam a produção de biossurfactantes.....	23
Quadro 3 - Propriedades de tensoativos em formulações cosméticas.....	24
Quadro 4 - Taxonomia da análise do nível Micro a partir do nível Meso.....	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAGR	Compound Annual Growth Rate
MEL	<i>Mannosylerythritol lipids</i>

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Com o objetivo de apresentar uma sistematização coerente e adequada à proposta do estudo, o presente trabalho foi estruturado em 6 capítulos.

INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA – Capítulo destinado a contextualizar sobre o tema, como também trazer o objetivo do trabalho.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA – Apresenta um aprofundamento, abordando classificação, características e propriedades acerca do uso de Biossurfactantes e de sua correlação com a área cosmética, além de sua prospecção tecnológica.

METODOLOGIA DE PESQUISA – Descreve as metodologia escolhida durante a pesquisa na base SCOPUS, e o método de avaliação dos artigos.

RESULTADOS E DISCUSSÕES – O capítulo apresenta os resultados do mapeamento tecnológico e as discussões levantadas durante a pesquisa.

CONCLUSÕES – Descreve a conclusão sobre o tema do trabalho.

REFERÊNCIAS – Apresenta as referências utilizadas no trabalho em questão.

1.1 INTRODUÇÃO

Os biossurfactantes são moléculas tensoativas que podem ser obtidas por alguns microrganismos (como bactérias, fungos filamentosos e leveduras), que ganham cada vez mais espaço nos interesses científicos e industriais (MYERS, 2006). Tensoativos são moléculas cuja estrutura é formada por uma porção com características apolares e polares, que facilitam a redução da tensão superficial líquido/líquido ou líquido/sólido, e possibilita a solubilidade entre água e componentes oleosos (DALVIN, 2011).

Ao longo do tempo, os setores farmacêutico, alimentício, cosmético e de limpeza têm utilizado moléculas sintéticas, os surfactantes, para cumprir essa função. No entanto, tais moléculas são produzidas a partir de matérias-primas não renováveis (JOSHI et al., 2015, *apud* BRUMANO; SOLER; SILVA, 2016), transformando esse material em resíduos de difícil degradação e em potencial risco de irritações na pele. Nesse contexto, cresce a busca por rotas alternativas que produzam componentes de alta biodegradabilidade, baixa toxicidade e que possuam matérias-primas diversificadas e renováveis (COSTA et al, 2007).

Segundo o Research and Markets, o mercado global de cosméticos, que é uma indústria assídua no consumo de surfactantes, tem a previsão de atingir até 2028 a marca de 442,43 bilhões de dólares americanos. E, para além da funcionalidade básica dos produtos cuidados pessoais, a categoria também dita os hábitos de seus consumidores. Quando uma parte destes engaja-se sobre aquecimento global, poluição e outros assuntos relacionados ao meio ambiente, direciona-se às empresas também o senso de responsabilidade aos temas (DEKHILI; ACHABOU, 2012; GAM et al., 2010; XU et al., 2012, *apud* KAHRAMAN; KAZANÇOĞLU, 2019). Dessa forma, a preocupação com os impactos ambientais e de saúde, fomenta o surgimento do “consumidor verde”, que se preocupa com o ciclo de vida do produto e também com o menor risco de irritação dérmica ou toxicidade (DAS; RAO, 2024; SHARMA et al., 2020, *apud* KLIMEK-SZCZYKUTOWICZ et al., 2024).

Consequentemente, as instituições começam o movimento de reposicionamento, e buscam se diferenciar no mercado por embalagens, matérias-primas, processos mais sustentáveis, ou por meio de comunicações, mesmo que tal posicionamento não reproduza de fato a implementação verde. Cabe ressaltar que apenas cerca de 10% dos produtos químicos catalogados no Sistema Internacional de Nomenclatura de Cosméticos (INCI) podem ser considerados naturais. Logo, essa restrição na possibilidade de substitutos *ecofriendly*, os desafios técnicos acerca da formulação e também do fornecimento escalonado dessas matérias-primas, colocam a pesquisa e desenvolvimento em torno dessas biomoléculas um assunto relevante para a indústria nos próximos anos (AGGARWAL; KADYAN, 2014; CHEN; CHANG, 2013; CHEN; LIN; CHANG, 2014; CHERRY; SNEIRSON, 2012, *apud* KAHRAMAN; KAZANÇOĞLU, 2019).

1.2 JUSTIFICATIVA

Os surfactantes desempenham um papel fundamental na formulação de produtos cosméticos como emulsificantes, formadores de espuma, solubilizantes e entre outros (FERREIRA et al., 2017; BEZERRA et al., 2018, *apud* BOUASSIDA et al., 2023). No entanto, ainda que sejam eficientes, pelo menos 50% dos surfactantes sintéticos comercializados são de origens não sustentáveis, além de serem capazes de provocar reações alérgicas e irritações na pele (ADU et al., 2020).

O setor de beleza e cuidados pessoais é intenso e aquecido ao redor do mundo, com previsões de alcance de uma taxa de crescimento anual composta (CAGR) de 4,9% entre 2023-2032. Uma das motivações para tal também atravessa pelo maior interesse dos consumidores sobre os componentes químicos que podem ser nocivos, estimulando a presença de produtos que tenham ingredientes de origem natural ou orgânica no mercado (RESEARCH AND MARKETS, 2024).

Diante de cenário, os biosurfactantes surgem como matérias-primas alternativas aos convencionais, devido sua notável estabilidade em condições extremas, como temperatura pH, além de apresentarem baixa toxicidade e alta biodegradabilidade em comparação com os sintéticos e boa compatibilidade com a

pele humana (ADU et al., 2020; CERESA et al., 2021; MOLDES et al., 2021, *apud* BOUASSIDA et al., 2023).

O mercado global de biossurfactantes apresenta uma taxa anual composta (CAGR) projetada de 10,70% com estimativas que indicam um volume de negócios de até US\$ 670,43 milhões em 2030 (RESEARCH AND MARKETS, 2025).

O presente trabalho apresenta uma prospecção tecnológica com o auxílio da base de artigos SCOPUS, da editora Elsevier, a partir de um mapeamento tecnológico do uso de biossurfactantes para fins cosméticos, entre pesquisas científicas no período compreendido de 2014 a 2024.

Segundo Kupfer e Tigre (2004), essa ferramenta prospectiva permite mapear sistematicamente desenvolvimentos científicos futuros que irão influenciar tendências e avaliar potencialidades e limitações.

Logo, a possibilidade de analisar durante 10 anos os estudos acerca do uso de biossurfactantes e o quanto o setor cosmético está sendo atingido, permite aprimorar o conhecimento e trazer possíveis aprendizados para área de P&D e soluções para o mercado.

1.3 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo geral realizar um mapeamento científico sobre o uso de biossurfactantes em aplicações cosméticas, com base em análise de artigos científicos entre o período de 2014 até 2024, utilizando a ferramenta de prospecção tecnológica. Pretende-se identificar os principais focos de pesquisas, os países e instituições mais atuantes.

1.3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar um estudo que possibilita nortear futuras pesquisas acerca do uso de biossurfactantes na indústria cosmética;
- Definir as taxonomias de análise necessárias para a execução da avaliação da metodologia de pesquisa dividida em quatro fases: preparatória, pré-prospectiva, prospectiva e pós-prospectiva;
- Elaborar um cenário geral acerca dos artigos obtidos pela base de dados SCOPUS;

- Apresentar quais aplicações estão sendo exploradas sobre o uso de biossurfactantes para fins cosméticos.

CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 BIOSSURFACTANTES

2.1.1 CONCEITO

Biossurfactantes são moléculas tensoativas anfifílicas cuja estrutura apresenta características hidrofílicas (que possuem afinidade por compostos polares) e hidrofóbicas (que possuem afinidade por compostos não polares). Podem ser sintetizados por microrganismos como fungos, leveduras ou bactérias, ou serem extraídos de plantas e se apresentam como uma alternativa aos surfactantes que em sua maioria são derivados de origem petroquímica. A figura 1 ilustra a dualidade dessa biomolécula, sendo que a porção mais polar pode ser representada por álcoois, aminoácidos, fosfatos entre outros, e a porção oposta pode ser representada por variações de ácidos graxos de cadeias longas (BHATTACHARYA; GHOSH; DAS, 2017; MULLIGAN, 2009, *apud* AKBARI et al., 2018).

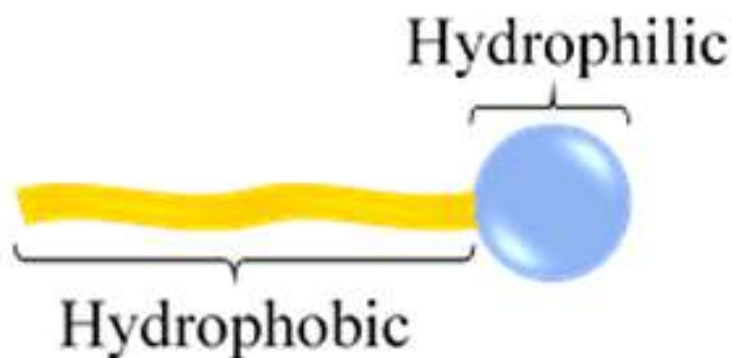


Figura 1 - Representa um monômero com uma cabeça hidrofílica e uma cauda hidrofóbica.
Fonte: AKBARI et al. (2018).

2.1.2 CLASSIFICAÇÃO DOS BIOSSURFACTANTES

Em uma palestra no *Workshop on biosurfactants - Berlim 2014*, ministrada por Wim Soetaert, foi apresentada uma proposta de divisão em primeira e segunda geração, baseada em sua origem. A primeira geração é chamada de “surfactantes verdes” que são aqueles extraídos e purificados a partir de matérias-primas vegetais e animais, ou produzidos por meio de sínteses químicas utilizando reagentes renováveis, como as saponinas (ALBANO, 2014; SOETAERT, 2014, *apud* MARCELINO, 2016).

Já a segunda geração tem como principal representante aqueles produzidos por processos biológicos realizados pelos microrganismos, a partir de recursos renováveis, como os glicolipídeos e os lipopeptídeos (ALBANO, 2014; SOETAERT, 2014, *apud* MARCELINO, 2016).

2.1.2.1 Biossurfactantes de origem vegetal

São chamadas de saponinas os componentes secundários que vêm de diferentes partes das plantas como caule, raízes, folhas, sementes e entre outras. Possui característica tensoativa não iônica que permite propriedades como emulsificação, detergentia e formação de espumas (RAI et al., 2021; LIU et al., 2017, *apud* KLIMEK-SZCZYKUTOWICZ et al., 2024).

2.1.2.2 Biossurfactantes de origem microbiana

Podem ser divididos em dois grandes grupos: de baixo peso molecular - eficientes em em reduzir a tensão superficial e interfacial; e de alto peso molecular - ideais para formar emulsões estáveis, como apresentado no quadro 1 abaixo (DESAI; BANAT, 1997, *apud* KLIMEK-SZCZYKUTOWICZ et al., 2024).

Quadro 1 - Classificação de Biossurfactantes.

	CLASSE	BIOSSURFACTANTE	MICRORGANISMO
BAIXO PESO MOLECULAR	GLICOLIPÍDEOS	Ramnolipídeos	<i>Pseudomonas sp.</i> , <i>Bacillus sp.</i> , <i>Renibacterium sp.</i> , <i>Enterobacter sp.</i> , <i>Acinetobacter sp.</i> , <i>Planococcus sp.</i> , <i>Lysinibacillus sp.</i> , <i>Microbacterium sp.</i> , <i>Stenotrophomonas sp.</i>
		Soforolipídeos	<i>Candida sp.</i> , <i>Trichosporon asahii</i> , <i>Starmerella bombicola</i> , <i>Wickerhamiella domercqiae</i>
		Trealolipídeos	<i>Rhodococcus erythropolis</i> , <i>Arthrobacter sp.</i> , <i>Mycobacterium sp.</i> , <i>Corynebacterium sp.</i> , <i>Bordetella</i>

			<i>hinzii-DAFI</i>
		Celobiolipídeos	<i>Ustilago maydis</i>
		Lipídeos de manitol mannosídeo	<i>Pseudozyma</i> <i>sp.</i>
		Lipídeos de eritritol mannosídeo	<i>Pseudozyma sp.</i> , <i>Ustilago scitaminea</i> , <i>Candida sp.</i>
ALTO PESO MOLECULAR	LIPOPEPTÍDEOS	Surfactina	<i>Bacillus subtilis</i>
		Subtilisina	<i>Bacillus subtilis</i>
		Serratavetina	<i>Serratia marcescens</i>
		Lichenisina	<i>Bacillus licheniformis</i>
	ÁCIDOS GRAXOS E FOSFOLIPÍDEOS	-	<i>Corynebacterium</i> <i>lepus</i> , <i>Nocardia</i> <i>erythropolis</i> , <i>Adnetohader sp.</i> , <i>Penicillium</i> <i>spiculisporum</i>
	BIOSSURFACTANTES POLIMÉRICOS	Emulsana	<i>Acinetobacter</i> <i>calcoaceticus</i> BD 413
		Alasana	<i>Adnetobacter</i> <i>radioresistens</i> KA 53
		Biodispersana	<i>Adnetobacter</i> <i>calcoaceticus</i> A2
		Manoproteína	<i>Saccharomyces</i> <i>cerevisiae</i>
		Liposana	<i>Candida lipolytica</i>
	BIOSSURFACTANTES	Fímbrias, vesículas	<i>Acinetobacter</i>

	PARTICULADOS	de membrana externa (OMV)	<i>calcoaceticus</i>
		Fator PM	<i>Pseudomonas marginalis</i>
		Células inteiras	<i>Cianobactérias</i>

Fonte: Adaptada de KLIMEK-SZCZYKUTOWICZ et al. (2024).

2.1.2.2.1 Glicolípidos

A categoria dos Glicolípídeos abrangem a maior parte dos biossurfactantes, têm os Ramnolípídeos e Soforolípídeos como seus principais representantes, além de terem o maior número de empresas com capacidade de produzi-los (MNIF; DHOUHA, 2015, *apud* MOLDES, 2021). São formados por combinação de carboidratos com ácidos alifáticos de cadeias longas ou ácidos hidroxi-alifáticos como exemplificado na figura 2 (DESAI; BANAT, 1997).

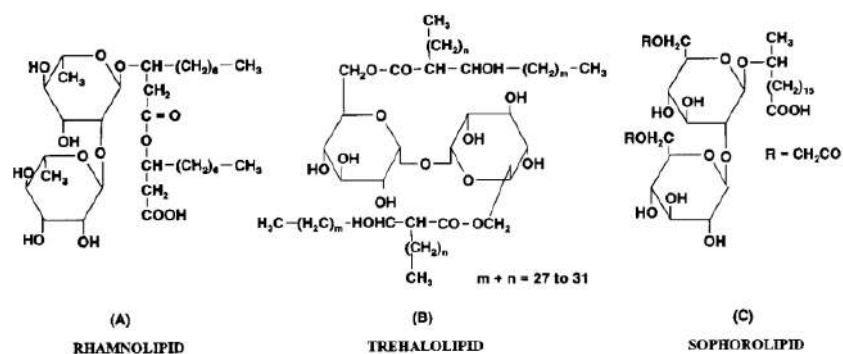


Figura 2 - Estruturas comuns de representantes do grupo de Glicolípídeos: Ramnolípídeos, Trealolípídeos e Soforolípídeos.
Fonte: DESAI; BANAT (1997).

Os Ramnolípídeos se destacam por serem mais estudados e são formados por uma ou duas moléculas de ramnose ligadas a moléculas de ácido β -hidroxidecanóico e são produzidos por bactérias *Pseudomonas aeruginosa* (DESAI; BANAT, 1997). Possuem como principais propriedades ser emolientes, emulsificantes e condicionantes para a pele (MOLDES et al., 2021). Já os Soforolípídeos não são tão eficazes como emulsificantes, embora consigam reduzir

Quando direcionamos ao setor de cosméticos, os Lipídios mannosil-eritritol (MELs) também são um dos tipos de glicolipídeos que se destacam. São produzidos por leveduras *Pseudozyma* e utilizados em aplicações para hidratação da pele, restauração capilar e até mesmo como antioxidantes (MOLDES et al., 2021).

São majoritariamente produzidos por bactérias do tipo *Bacillus subtilis* e é a categoria mais estudada junto com os Glicolipídeos. No setor de beleza, podem aparecer em fórmulas com potencial anti rugas, hidratantes e de limpeza (KANLAYAVATTANAKUL; LOURITH, 2010, *apud* MOLDES, 2021).

O Lipopeptídeo mais explorado é a Surfactina. Sua versão cíclica ilustrada na figura 3 é um dos Biossurfactantes mais potentes (DESAI; BANAT, 1997). Essa categoria apresenta alta solubilidade em solvente orgânicos e baixa em água - é solúvel apenas em pH 8 a 8,5 - podendo levar desafios em formulações cosméticas e farmacêuticas (ABDEL-MAWGOUD; ABOULWAFÀ; HASSOUNA, 2008, *apud* MOLDES, 2021).

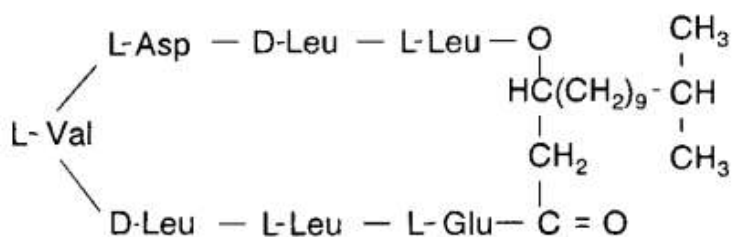


Figura 3 - Estrutura do lipopeptídeo cíclico surfactina produzido por *Bacillus subtilis*.
Fonte: DESAI; BANAT (1997).

Algumas bactérias e leveduras durante a utilização de n-alcanos como fonte de carbono, produzem altas concentrações de ácidos graxos e fosfolipídeos. A

figura 4 representa a estrutura de uma fosfatidiletanolamina, produzida por *Acinetobacter sp* e possui em R1 e R2 cadeias hidrocarbonadas de ácidos graxos. Essa potente biomolécula tensoativa produzida pela espécie de bactéria citada anteriormente forma microemulsões opticamente claras de alcanos em água (DESAI; BANAT, 1997).

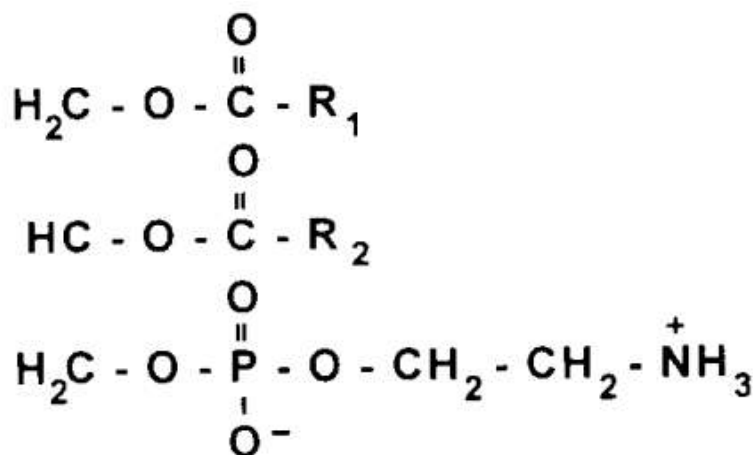


Figura 4 - Estrutura de uma fosfatidiletanolamina. R1 e R2 representam cadeias hidrocarbonadas de ácidos graxos.

Fonte: DESAI; BANAT (1997).

2.1.2.2.4 Biossurfactantes poliméricos

Complexos constituídos por polissacarídeos-proteína dão origem a categoria de emulsificantes poliméricos, a qual possui representantes como emulsan, liposan e manoproteína (DESAI; BANAT, 1997; MOLDES et al., 2021).

O emulsan é tipo o mais explorado e possui sua estrutura ilustrada na figura 5. É produzido pela bactéria *Acinetobacter calcoaceticus* e possui uma notável característica emulsificante que o faz bastante conhecido como um potente estabilizador de emulsão (NITSCHKE; PASTORE, 2002; DESAI; BANAT, 1997; MOLDES et al., 2021). Ademais, o Liposan também é uma boa referência nessa propriedade e tem sido aplicado nas indústrias alimentícia e cosmética para tal (SANTOS et al., 2016, *apud* MOLDES, 2021).

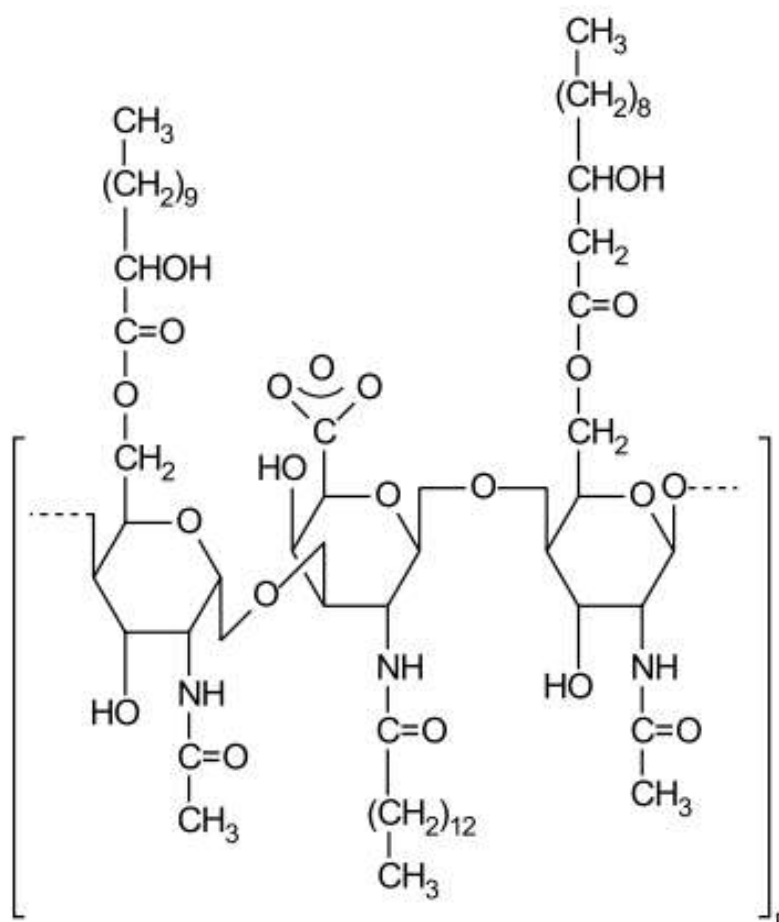


Figura 5 - Estrutura de um emulsan produzido por *Acinetobacter calcoaceticus*.
Fonte: NITSCHKE e PASTORE (2002).

2.1.2.2.5 Biossurfactantes particulados

É um grupo formado por vesículas articuladas, que são pequenas estruturas esféricas liberadas pelas células microbianas para o meio externo, de membrana extracelular que possuem em sua estrutura proteínas, fosfolipídios e polissacarídeos, e outros compostos bioativos que ajudam na interação com o meio ambiente, cujo principal papel é atuar na tensão superficial entre líquidos imiscíveis (KOSARIC; SUKAN, 1993; SANTOS et al., 2016; NITSCHKE; SOUSA E SILVA, 2018, *apud* MOLDES, 2021).

2.1.3 Cultivo e produção

A produção pode ser espontânea ou induzida em condições como: presença de compostos lipofílicos, variações de pH, temperatura, aeração e velocidade de agitação ou exposição a estresses como baixa concentração de nitrogênio. Alguns fatores físico-químicos são discutidos na tabela abaixo (DESAI; BANAT, 1997, *apud* SANTOS et al., 2016):

Quadro 2 - Fatores físico-químicos que afetam a produção de biossurfactantes.

Fatores	Impactos
Fonte de carbono Exemplos: Glicose, glicerol ou óleos.	Como pode variar a partir do microorganismo utilizado, a fonte de carbono específica para ele, ou a combinação, é fundamental para o rendimento da produção.
Fonte de nitrogênio Orgânicas ou inorgânicas	A razão carbono/nitrogênio é importante para a eficiência da produção. Altas razões C/N afetam a formação de metabólitos, enquanto o excesso de nitrogênio pode limitar a formação de produtos.
Condições de crescimento	Para cada conjunto dos parâmetros de temperatura, pH, velocidade de agitação e oxigênio, terá uma produção máxima para um microorganismo específico.

Fonte: Adaptado de SANTOS et al. (2016).

Como o presente trabalho de mapeamento destaca a relevância do uso de biossurfactantes na indústria, é interessante destacar as possibilidades de fontes de carbono que permitam tal importância no tema. A necessidade de reutilizar materiais e as preocupações ambientais promovem a pesquisa em algumas matérias-primas mais utilizadas, segundo Santos et al. (2016):

- Gordura animal e banha - São obtidas em grandes quantidades pela indústria alimentícia, no entanto tem perdido espaço no mercado para os óleos vegetais, pois são considerados menos prejudiciais à saúde. Seu uso

apresenta resultados positivos, por exemplo, na produção de Soforolipídeos pela levedura *C. bombicola*;

- Óleos de fritura - São considerados excelentes fontes de carbono e podem ser combinados com glicose para atingir o rendimento ótimo;
- Melaço - É um subproduto da industrialização da cana-de-açúcar e da beterraba. Por possuir alto teor de açúcar se torna adequado para à produção de biossurfactantes por diferentes microrganismos;
- Licor de Milho (Corn Steep Liquor) - Os derivados do milho geram resíduos sólidos e líquidos que, quando descartados inadequadamente, causam impactos ambientais. Esse resíduo é considerado um ótimo nutriente e de baixo custo.

2.2 APLICAÇÕES DE BIOSSURFACTANTES EM FORMULAÇÕES COSMÉTICAS

2.2.1 Principais propriedades funcionais

Segundo Romanowski e Schueller (2010), os tensoativos fazem o “trabalho pesado” nas formulações cosméticas, ou seja, realizam as funções fundamentais, que tornam sua aplicação indispensável, como limpeza, emulsificação, formação de espuma dentre outras, exemplificadas no quadro 3 abaixo. Tais competências são as chaves para garantir a performance de alguns itens cosméticos como xampus, cremes e loções (FERREIRA et al., 2017, *apud* KARNWAL et al., 2023).

Quadro 3 - Propriedades de tensoativos em formulações cosméticas.

Propriedade	Funcionalidade
Detergência	Essas moléculas possuem a capacidade de remover gordura e sujeira. Ocorre a formação de micelas, pois a fase oleosa é completamente envolvida pelo agente surfactante e tensoativo em água. Essas micelas são removidas pelo enxágue.

Formação de espumas	Os consumidores podem associar o poder espumante com a eficiência do produto. Por exemplo, um xampu que forma muita espuma pode ser considerado eficaz por conta dessa característica. Além disso, a espumação também está atrelada a outros atributos como espalhabilidade, facilidade de enxágue e a segurança quanto às irritações.
Solubilização	A água, em sua maioria, é o componente de maior concentração nas formulações cosméticas. No entanto, como existem muitas matérias-primas que não são solúveis em água - por exemplo, fragrâncias -, a classe de surfactantes se torna uma facilitadora, são capazes de dispersar o óleo na fase aquosa sem perder a transparência.
Emulsificação	Quando não temos apenas um componente oleoso em uma fase aquosa, e sim uma mistura estável de hidrocarbonetos e água estamos falando da formação de uma emulsão. Essa categoria de tensoativos apresentará um ponto de fusão mais alto e será menos solúvel em água, pois poderá apresentar uma cadeia de carbono mais longa e ajudará na formação de emulsões, ao invés de detergência e alto poder espumante.
Condicionamento	Essas moléculas também podem ajudar a colocar a superfície em que estão atuando em um estado funcional. No caso dos cabelos, o condicionamento traz a sensação de maciez e suavidade, já na pele, é de hidratação.
Umedecimento	O efeito de umedecimento, proporcionado por alguns tensoativos, é a ação de espalhar a formulação pelo cabelo ou pela pele em uma tensão superficial adequada para que o produto cumpra sua função, além de trazer uma experiência satisfatória no uso.

Fonte: Adaptado de ROMANOWSKI; SCHUELLER (2010).

Além de possuírem as propriedades citadas acima, alguns biossurfactantes também têm a capacidade antimicrobial. Isso inclui eficiência na atividade bactericida, fungicida, antiviral e antibiofilme. O aumento da demanda por novos

agentes microbianos é decorrente da resistência adquirida por eles, o que direciona os estudos para novas possibilidades de compostos (BANAT et al., 2010; ADU et al., 2020).

2.3 BIOSSURFACTANTES COMO UMA ALTERNATIVA AOS SURFACTANTES SINTÉTICOS

O potencial desses compostos vem sendo mapeados desde os anos 60, culminando na expansão de seu uso no século XXI. Para além das escalas laboratoriais, o interesse é despertado pela indústria por conta de vantagens como (ROSA; FREIRE; FERRAZ, 2015; PACWA-PLOCINICZAK et al., 2011; MAKKAR; CAMEOTRA; BANAT, 2011, *apud* SANTOS et al., 2016):

- Diversidade estrutural;
- Atuação em amplas faixas de pH, temperatura e salinidade;
- Maior seletividade;
- Menor CMC (concentração crítica micelar);
- Produção a partir de matérias-primas renováveis, resíduos e subprodutos industriais.

2.3.1 Contexto ambiental

Os surfactantes sintéticos possuem moléculas de difícil degradação por meio de microrganismos e podem apresentar toxicidade aos recursos hídricos e consequentemente impactos ambientais e toxicológicos. Dessa forma, os biossurfactantes ganham visibilidade por terem alta biodegradabilidade comparado aos convencionais (FAKRUDDIN, 2012; SANTOS et al., 2016, *apud* BOUASSIDA et al., 2017).

2.3.2 Maior conscientização e segurança dos consumidores

As biomoléculas se destacam porque as matérias-primas de origem petroquímica em formulações podem ocasionar irritações e alergias na pele, por conta de algumas hipóteses como: suas propriedades físico-químicas; a concentração utilizada; ou a permanência na epiderme (SEWERYN, 2018, *apud* ABRUZZO et al., 2021).

Além disso, aumenta o caráter ecológico do produto, cujo consumidor está cada vez mais se conscientizando sobre o uso de ingredientes renováveis e naturais (GRABENHOFER, 2023).

2.3.3 Dificuldade de *Scale-up*

Todos os pontos mencionados ajudaram a fomentar a pesquisa da possibilidade de aumentar a escala de produção dos biossurfactantes. Alguns fatores cruciais podem ser citados como: tipo de microrganismo, substrato selecionado, processamento *downstream*, investimentos financeiros necessários e a recuperação dos produtos finais (como purificação), que podem representar até 60% do custo total (TEIXEIRA-SOUZA et al., 2018; SARUBBO et al., 2015, *apud* ERAS-MUÑOZ et al., 2022).

A maioria desses estudos reporta volumes de cultivos em bancada variando entre 100 e 1200 mL, sendo poucos os que alcançam escalas superiores, por meio de fermentação submersa (ERAS-MUÑOZ et al., 2022). Alternativas que possam viabilizar os custos e aumentar a produtividade são pensadas como substratos de baixo custo (por exemplo, resíduos orgânicos) e fermentação em estado sólido (JIMÉNEZ-PEÑALVER et al., 2019, *apud* ERAS-MUÑOZ et al., 2022).

2.4 PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA

Possuir o conhecimento tecnológico é um importante recurso econômico que as organizações mundiais podem possuir. Em comparação ao capital financeiro, físico, humano e aos recursos naturais, a detenção da tecnologia como instrumento auxiliador, podem as colocar em destaque em relação às demais, principalmente pela dinâmica de mundo globalizado que vivemos e o desenvolvimento tecnológico avançando aceleradamente (TEXEIRA, 2013).

Coelho (2003) traz a reflexão sobre a incerteza do futuro, mas com organização e direcionamento, é possível apontar possíveis condições futuras. A ideia levantada é endossada, visto que segundo Oliveira (2001), o atual panorama do mercado é um meio onde, as atividades prospectivas são ferramentas que

possibilitam trazer perspectivas e recomendações sobre o futuro pretendido ou desejado.

Segundo Coelho (2003), o termo prospecção tecnológica é referente a atividades de prospecção centradas nas mudanças da capacidade funcional ou no tempo e com significado de uma inovação. É um processo que permite entender as áreas de pesquisas estrategicamente e as novas tecnologias que tenham prospecção de gerar maiores benefícios econômicos e sociais (SECTES/CEDEPLAR, 2009). Como bem descrito por Tigre (2006), a prospecção tecnológica é um processo sistemático para analisar o conjunto dos fatores e dos responsáveis envolvidos no processo de inovação, com a perspectiva de prever e entender as potencialidades, evolução, características e efeitos das tecnologias em desenvolvimento.

O projeto da SECTES/CEDEPLAR (2009), pontua qual o objetivo e também quais são os resultados benéficos esperados da prospecção tecnológica, a Figura 6 traz-os explicitados.

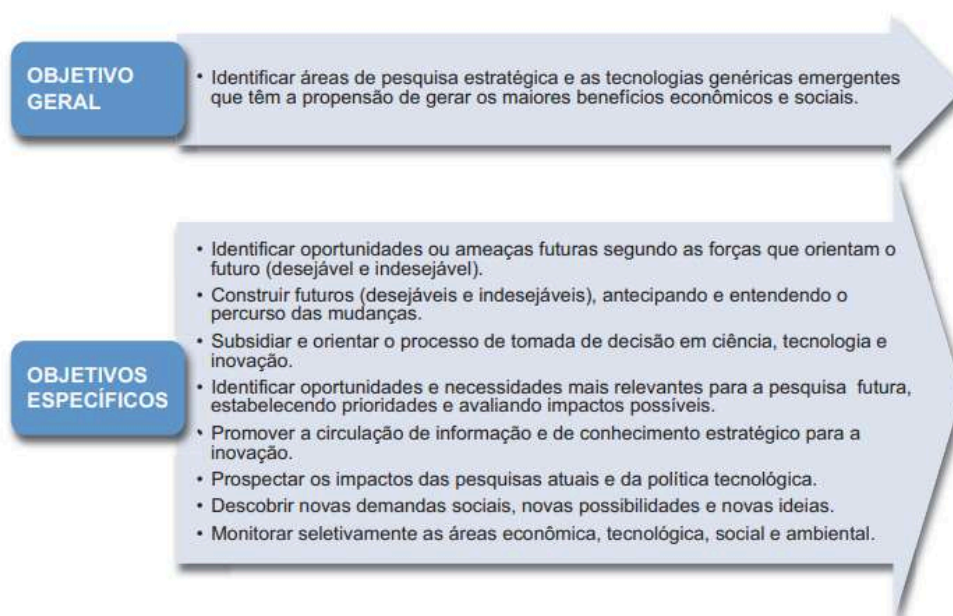


Figura 6 - Objetivos da Prospecção Tecnológica.

Fonte: SECTES/CEDEPLAR (2009).

Bahruth, Antunes e Bomtempo (2006) trazem uma metodologia de Prospecção Tecnológica, que auxilia na organização, concretização e encerramento do estudo, dividindo em quatro fases como ilustrado na figura 7: Preparatória, Pré-prospectiva, Prospecção tecnológica e Pós-prospectiva.

- **Fase 1 - Preparatória:** Momento utilizado para a consolidação dos objetivos, escopo, abordagem e metodologia;
- **Fase 2 - Pré-Prospectiva:** Aprofundamento e o detalhamento da metodologia utilizada;
- **Fase 3 - Prospecção Tecnológica:** Onde ocorrerá, a busca e a interpretação dos dados;
- **Fase 4 - Pós-Prospectiva:** Com base no que foi obtido de conhecimento, são dispostos os resultados, a implantação das ações e o monitoramento.



Figura 7 - Sequência de fases a serem adotadas para a execução, organização e conclusão da prospecção tecnológica.

Fonte: BAHRUTH et al., 2006.

Em sequência é apresentado um detalhamento sobre as etapas da Prospecção Tecnológica, como já dito uma ferramenta forte no auxílio direcionamento, resolução e exploração das possibilidades com objetivo de entender o desenvolvimento de tecnologias científicas e inovações mercadológicas.

2.4.1 Fase 1: PREPARATÓRIA:

A Fase 1 vai ser responsável pela definição da metodologia de prospecção tecnológica e a procura de materiais a serem utilizados como bases de informação nas análises futuras. São utilizados artigos científicos, trabalhos acadêmicos e revistas, como fontes de conhecimento acerca do assunto definido.

O tema “Mapeamento tecnológico de biossurfactantes para fins cosméticos”, foi examinado por meio de estudos mais abrangentes do tema. Para isso, foi utilizado como fonte a plataforma Scopus, com acesso via CAPES, com o objetivo de consolidar e aprofundar através de artigos científicos. Com base nos documentos nacionais e internacionais apresentados, foi possível determinar a relevância do conteúdo aprofundado.

2.4.2 Fase 2: PRÉ-PROSPECTIVA:

A Fase 2 consiste em nortear a estrutura das próximas etapas. Dessa forma, a taxonomia dentro dos níveis Macro, Meso e Micro é selecionada baseada nos pontos mais recorrentes quanto ao tópico abordado no presente trabalho.

Nessa etapa são determinadas as abordagens mapeadas no escopo da pesquisa, levando em consideração a evolução tecnológica e a inovação. Portanto, os seguintes critérios foram selecionados:

- Determinação dos filtros que seriam utilizados na Prospecção tecnológica;
- Limitação temporal da busca;
- Levantamento das entidades desenvolvedoras dos artigos científicos;
- Entendimento dos principais aspectos que vêm sendo abordados através do tema em artigos científicos.

2.4.3 Fase 3 e 4: PROSPECTIVA E PÓS-PROSPECTIVA:

A Fase 3 e 4 referem-se à utilização dos artigos científicos como instrumento de entendimento de pontos relevantes do mercado tecnológico, em rotas tecnológicas, investimentos, processos e aplicações dos Biossurfactantes, no estudo em questão, com foco em cosméticos.

Na Fase 3, é realizada a coleta, o tratamento e análise dos dados, disponibilizando graficamente as informações relevantes levantadas e discussões pertinentes do estudo prospectivo. Já na fase 4, são apresentados os resultados analíticos, com a finalidade de compartilhar os resultados obtidos, como também prever alguns comportamentos ao longo do tempo.

2.5 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os biossurfactantes são moléculas com características tensoativas por apresentarem em sua estrutura composições de natureza hidrofílica e hidrofóbica. Devido a alta demanda por alternativas de matérias-primas de origem não renovável, como os surfactantes sintéticos, esses compostos que apresentam produção via microorganismos e a partir de substratos renováveis, ganham destaque quanto aos de origem sintética. Cada vez mais os estudos apresentam resultados de comparativos de performance em relação aos tradicionais, além das propriedades já comprovadas de alta biodegradabilidade e baixa toxicidade, endossando a substituição pela Pesquisa e Desenvolvimento para expansão da indústria e mercado que dependem desses tensoativos. Ademais, tal mudança é fomentada não pelo apelo ambiental, mas em relação aos consumidores. A comunicação a favor do ciclo de vida sustentável do produto é crescente e notável na sociedade, e as empresas precisam ter ferramentas para sustentar o discurso.

No entanto, a dificuldade de escalonamento devido aos altos custos que não são atrativos frente ao rendimento obtido tem impedido uma substituição mais imediata. Tal cenário fomenta pesquisas de otimização de processos e redução de custos ao redor do mundo, através de pesquisadores e empresas, visando a expansão de conhecimento.

O presente trabalho faz um levantamento tecnológico de artigos publicados entre 2014 e 2024, acerca do uso de Biossurfactantes para fins cosméticos. Dessa forma, é possível traçar uma direção para estudos futuros, diante do mapeamento do que foi produzido recentemente. O mapeamento tecnológico se torna relevante devido a grande importância das propriedades apresentadas pelos Biossurfactantes para o mercado mundial.

CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA DE PESQUISA

3.1 METODOLOGIA DE PESQUISA

O capítulo a seguir descreve a metodologia de pesquisa utilizada no presente trabalho, com o intuito de realizar uma varredura e aprofundar os conhecimentos acerca do tema. É fundamental que as técnicas de buscas sejam feitas em uma base sólida e prestigiada de documentos e que os filtros aplicados sejam coerentes. Dessa forma, foi escolhido a Prospecção Tecnológica como instrumento de pesquisa.

3.1.1 Estratégias de Busca de Artigos Científicos

A metodologia consiste em mapear na plataforma Scopus através palavras-chaves e filtros o conjunto de documentos mais adequados para o desenvolvimento do trabalho.

Como isso, a primeira busca consistiu em entender o universo acerca das palavras “Biosurfactants” e “Cosmetic” com o conectivo AND. O operador Booleano, AND, foi selecionado com o objetivo de retorno de publicações que abordassem as duas condições de interesse, com isso o mapeamento retornou os resultados em que essas palavras são apresentadas de forma conjunta. Além disso, também limitamos temporalmente as buscas entre o período dos anos 2014 até 2024, entendendo que é um período recente e com duração significativa de uma década, além de possibilitar a análise de como a temática era abordada em passado recente e como são exploradas atualmente.

Dessa forma, foram apresentados 2.632 documentos.

Para que as publicações estivessem mais alinhadas com as necessidades do presente trabalho, foram aplicados os seguintes filtros a seguir:

- Faixa temporal: de 2014-2024;
- Área temática:
 - Temas excludentes: Artigos ligados a Artes e Humanidades, Psicologia, Neurociência, Veterinário, Odontologia, Enfermagem, Economia, Econometria e Finanças, Matemática, Profissões de saúde, Negócios, Gestão e Contabilidade, Ciências da Terra e Planetários, Ciência da Computação, Energia, Física e Astronomia, Medicina, Ciência dos Materiais, Engenharia e Imunologia e Microbiologia;
 - Temas envolvidos: Artigos ligados a Farmacologia, Toxicologia e Farmacêutica, Química, Bioquímica, Genética e Biologia Molecular, Engenharia Química, Ciência Ambiental, Ciência Agrárias e Biológicas, Multidisciplinar e Ciências Sociais;
- Tipo de Documento: Limitado a artigos;
- Fase de publicação: Apenas trabalhos já finalizados;
- Palavras-chave: “Biosurfactant”, “Bio-surfactants”, “Biosurfactants”, “Cosmetics”, “Cosmetic” e “Bio surfactants”. - palavras oferecidas pela plataforma;
- Idiomas: Inglês e Português;

Os temas excludentes foram determinados por estarem distantes da temática do assunto principal do presente trabalho. Da mesma forma que os temas envolvidos escolhidos são áreas afins.

Durante as análises foi visto a necessidade de aplicar o filtro de Tipo de Acesso: Acesso Aberto, pois possibilitaria que os artigos que foram avaliados estariam disponibilizando as informações de interesse à serem avaliadas nas etapas seguintes. Originando os documentos, que foram utilizados como embasamento para a Prospecção Tecnológica.

3.1.2 Elaboração das análises

Os artigos foram analisados em acordo com a taxonomia dividida em: níveis Macro, Meso e Micro. Em seguida temos a descrição do que foi considerado para compor cada etapa.

Nível Macro:

Os documentos foram avaliados segundo a distribuição anual das publicações, pelos países de origem, pelas instituições originárias do conhecimento científico e de desenvolvimento das tecnologias - universidades, centros de pesquisa e empresas - e seus parceiros (BARUTH, 2006). Essas classificações são mais amplas e preliminares, traz a identificação geral entre os artigos e é a base para entender a origem do conteúdo.

Nível Meso:

Nessa etapa os documentos são classificados conforme as suas informações mais relevantes acerca do tema (BARUTH, 2006). O nível Meso foi subdividido nos tópicos abaixo, a escolha das características foi baseada na decisão das autoras do trabalho:

- **Biossurfactantes:** Documentos que têm como assunto principal envolvendo Biossurfactantes, contendo um desenvolvimento de soluções sobre sua produção, mas também sobre a potencialidade de suas propriedades e aplicações.
- **Agentes de Produção:** Consideram os documentos que mencionam os tipos de microorganismos responsáveis pela produção.
- **Meio de Produção:** Documentos que descrevem os substratos utilizados pelos microrganismos mencionados.
- **Técnica de produção:** Tipo de rotas de produção utilizadas na geração de biossurfactantes.
- **Técnica de obtenção:** São as possíveis formas de obtenção dos biossurfactantes isolados. Os documentos abordam como extrair os biossurfactantes de interesse.

- **Propriedades:** Documentos que abordam as diferentes propriedades possíveis para os biossurfactantes. Vale ressaltar que, as propriedades consideradas foram com foco na aplicação em produtos cosméticos.
- **Aplicação na Indústria cosmética:** Procura identificar se os artigos possuem aplicação na indústria cosmética.

Nível Micro:

Por fim, nessa parte da análise foram destrinchados os aspectos mais relevantes das subdivisões apresentadas na análise do nível Meso, de acordo com o quadro 4 abaixo:

Quadro 4 - Taxonomia da análise do nível Micro a partir do nível Meso.

Nível Meso	Nível Micro
Biossurfactantes	<ul style="list-style-type: none"> - Glicolipídios - Lipopeptídeos e Lipoproteínas - Fosfolipídios e ácidos graxos - Glicopeptídeos e Glico Lipopeptídeos - Bioemulsificantes
Agentes de Produção	<ul style="list-style-type: none"> - Bactérias - Fungos - Leveduras - Outras origens
Meio de Produção	<ul style="list-style-type: none"> - Glicose - Glicerol - Resíduos agro industriais e alimentício - Óleos - Outros substratos

Técnica de produção	<ul style="list-style-type: none"> - Fermentação - Extração - Outra produção
Técnica de obtenção	<ul style="list-style-type: none"> - Extração - Separação - centrifugação - Separação - meio físico - Precipitação - Lavagem - Secagem/Evaporação - Liofilização
Propriedades	<ul style="list-style-type: none"> - Emulsificação - Detergência - Formação de espumas - Hidratação - Atividade antimicrobiana - Solubilização - Outras propriedades
Aplicação na Indústria cosmética	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicação em formulações capilares - Aplicação em formulações para a pele
Escalonamento	<ul style="list-style-type: none"> - Escala laboratorial - Escala piloto - Escala Industrial

Vale ressaltar que, itens diferentes dos destrinchados em nível Micro e abordados em uma frequência de citação abaixo de 10% dos artigos, foram considerados como “outros”.

Com base nos tópicos escolhidos, baseados em fontes confiáveis de geração de dados, é possível analisar os resultados obtidos como ferramenta de análise do mercado dos biossurfactantes com fins cosméticos. Com isso, o estudo em questão possibilita identificar as classes, origem, meios de produção e obtenção, como também as propriedades dos biossurfactantes, além de apresentar em qual etapa de evolução de pesquisas se encontram, e em quais aplicações cosméticas são mais presentes.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Compõe as etapas 1 e 2 da metodologia de prospecção tecnológica, a qual foi explicada e detalhada, além de ser o berço da fonte de informações a ser adotada. A seguir serão discutidos os resultados obtidos após esse mapeamento, sendo equivalentes a fase 3 e 4 da metodologia apresentada por BAHRUTH (2006).

4.1 ARTIGOS CIENTÍFICOS PUBLICADOS

Com a primeira estratégia de busca adotada no presente trabalho, foram encontrados 2.632 artigos publicados entre 2014 a 2024. A partir do direcionamento adotado pelos filtros selecionados, foram apresentados 83 artigos. Dentro os documentos retirados, 18 não tratavam diretamente sobre biossurfactantes, totalizando 65 artigos avaliados relevantes. A figura 8 mostra o percentual entre a classificação dos artigos nos critérios de pesquisas citados.

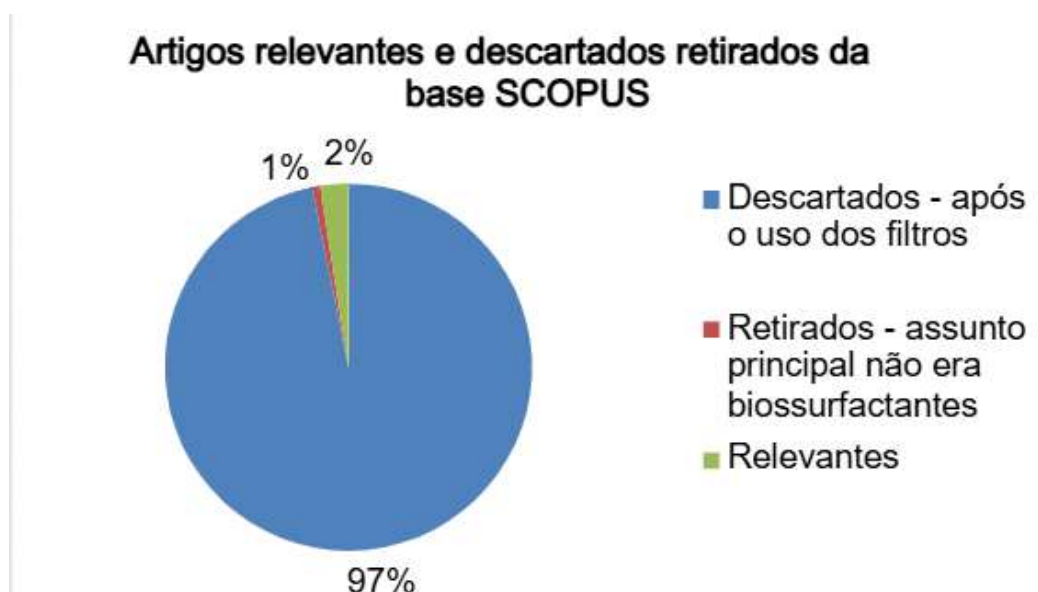


Figura 8 - Artigos relevantes e descartados retirados da base SCOPUS.

Fonte: Base: SCOPUS; período 2014-2024.

4.2 RESULTADOS NÍVEL MACRO DOS ARTIGOS

A primeira análise, ilustrada no gráfico da figura 9, foi realizada a partir da variação, ao longo da faixa temporal limitada, do número de artigos publicados, com o foco no tema mapeado.

Ao analisar as informações da evolução temporal, é possível notar um comportamento quase constante no número de publicações no início do recorte temporal, com exceção ao ano de 2018 que apresentou um aumento em relação a esse período. No entanto, após o ano de 2020 houve um crescimento significativo, saltando de uma média de 3 documentos por ano entre 2014-2020 para 11 por ano entre 2021-2024. De acordo com o gráfico, os anos de 2022 e 2023 foram onde mais artigos foram publicados, com 13 publicações.

Segundo o Relatório de Ciência publicado pela Unesco em 2021, no período pandêmico tivemos algumas diretrizes globais que facilitaram a Pesquisa e Desenvolvimento para combater a crise, mas também se estenderam a outras áreas científicas. Sendo assim, muitas instituições mantiveram protocolos de submissão e aprovação mais ágeis e impulsionamento de grupos de pesquisas multidisciplinares.

Dessa forma, o aumento significativo de deposições pode ser justificado pelo beneficiamento da comunidade científica ao legado pós crise.



Figura 9 - Evolução temporal do número de artigos publicados.

Fonte: Base: SCOPUS; período 2014-2024.

Em relação aos países que são produtores do conhecimento, individualmente, a Índia e o Japão foram os países com maior número de publicações, totalizando 5 para cada. Em sequência o Brasil, com 4, que está com o mesmo número de publicações do Irã, Itália e Espanha. Os demais países ficam com uma média de 2 artigos por ano. Porém, quando olhamos para as parcerias entre dois ou mais países, temos uma maior incidência com 12 publicações, como apresentado na figura 10. Vale ressaltar que a publicação em parceria de um país não está inclusa na análise de publicações individuais.

Assim, o gráfico ilustrado na figura 10 mostra que não há uma superioridade intelectual significativa de um só país, mas sim um equilíbrio quando a abordagem é individual e um alto número de compartilhamento e colaboração de descobertas demonstrado pelas 12 parcerias.

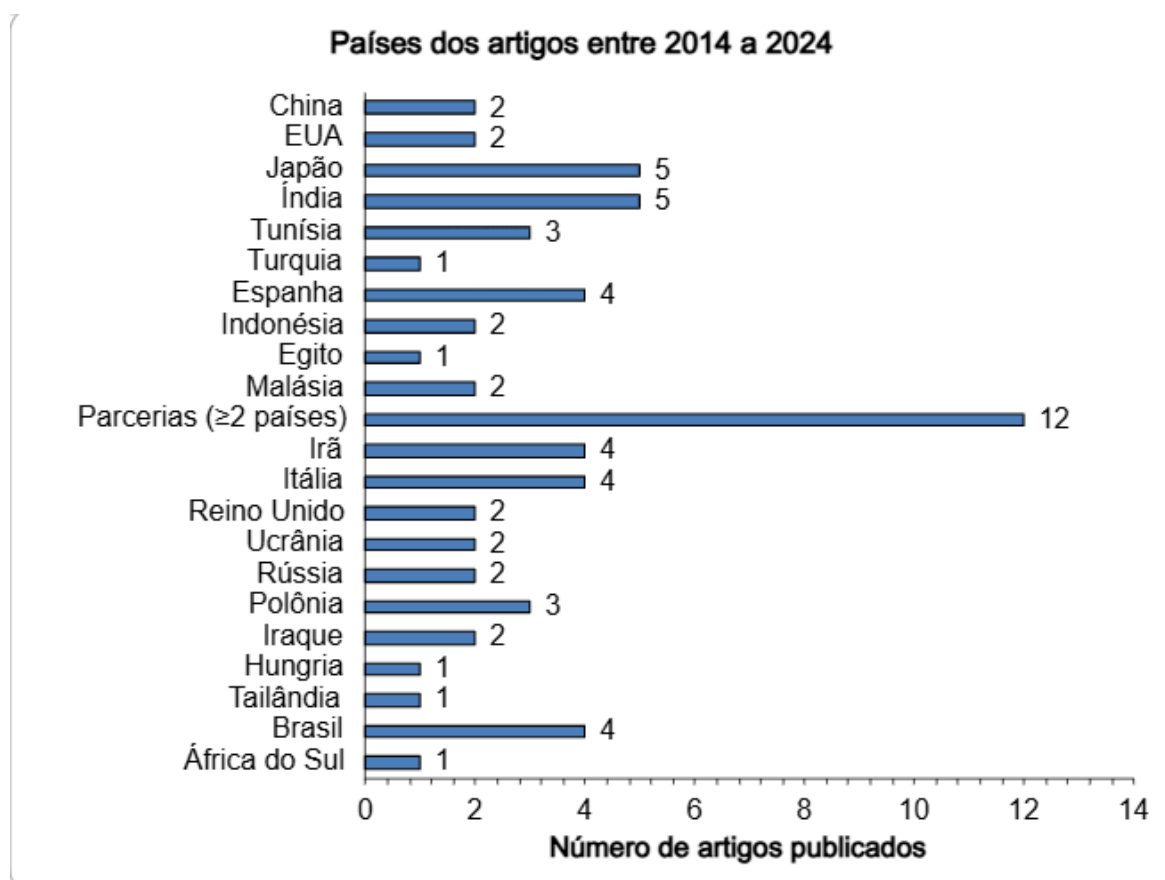


Figura 10 - Países produtores de publicações no intervalo temporal de 2014 a 2024.

Fonte: Base: SCOPUS; período 2014-2024.

Ainda nesse ponto de vista, a figura 11 traz a proporção entre essas parcerias e quais os países envolvidos. E, foi observado que as porcentagem são iguais entre si, o que aponta para uma não recorrência dessas colaborações. Em relação ao Brasil, há alianças com Chile, Estados Unidos e Itália. Nota-se que Portugal e Itália foram os países que mais realizaram trabalhos colaborativos.

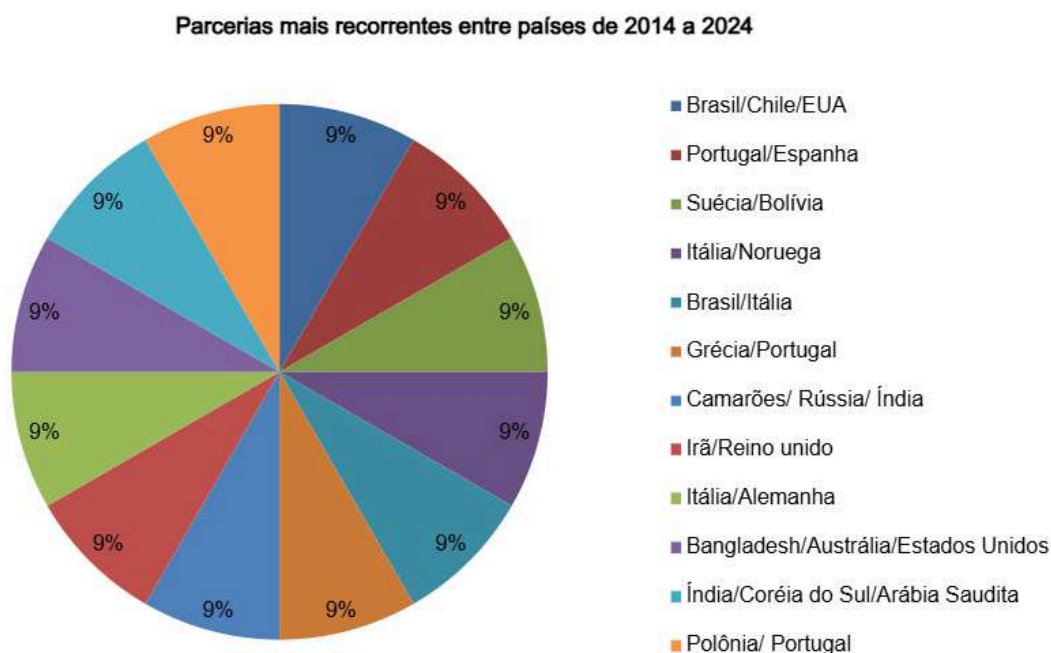


Figura 11 - Parcerias entre os países.

Fonte: Base: SCOPUS; período 2014-2024.

Em relação às organizações responsáveis pela publicação, a maioria foram feitas por universidades, totalizando 62%, como ilustrado na figura 12. E, quando as colocamos em combinação com empresas e centro de pesquisas, esse valor aumenta para mais de 90% do total de artigos.

Pensando em uma etapa mais voltada para a comercialização após o processo de pesquisa, vale trazer as empresas que foram responsáveis ou fizeram parcerias nas publicações estudadas. São exemplos, a BioSage, com o artigo "*Production and characterization of surface-active compounds from *Gordonia amicalis**"; Saraya Co. Ltd. com o título "*Low toxicity and high surface activity of sophorolipids from *Starmerella bombicola* in aquatic species: A preliminary study*" e L'Oréal com a publicação "*Removal of Model Biofilm by Sophorolipid solutions: A QCM-D Study*", totalizando apenas 3% no total das publicações. O que reforça o vasto caminho a percorrer quando o escalonamento é discutido.

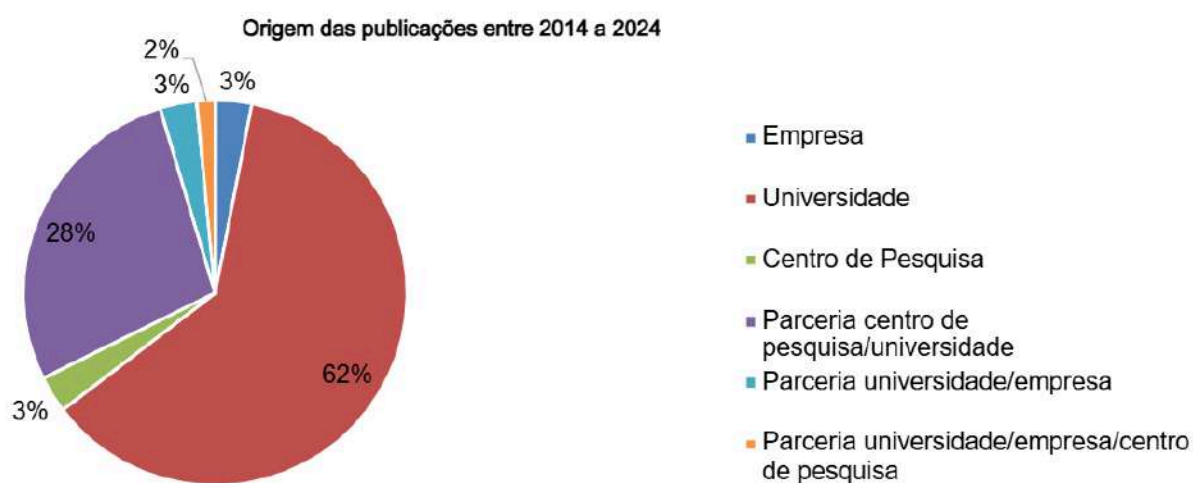


Figura 12 - Origem dos artigos publicados.
Fonte: Base: SCOPUS; período 2014-2024.

E, quando olhamos a origem das universidades, temos o gráfico ilustrado na figura 13, que apresenta o total de participação de uma universidade, considerando que uma universidade pode aparecer mais de uma vez. O Brasil apresenta maior frequência com 11, seguida da Itália com 10. Em “outros” estão os países que tiveram 2 ou menos universidades que realizaram publicações, totalizando 26. Também estão especificadas, na tabela 1, quais são as universidades presentes.

Interessante notar que a Universidade de Vigo, instituição com o maior número de publicações, nos seus 4 artigos, possuem como foco aplicações em produtos cosméticos. As publicações em questão são *“Influence of micelle formation on the adsorption capacity of a biosurfactant extracted from corn on dyed hair”* de 2017, *“Design and characterization of greener sunscreen formulations based on mica powder and a biosurfactant extract”* de 2018, *“Bioactivity of glycolipopeptide cell-bound biosurfactants against skin pathogens”* também de 2018 e *“Potential application of a multifunctional biosurfactant extract obtained from corn as stabilizing agent of vitamin C in cosmetic formulations”* de 2020. Os artigos variam de foco em aplicação capilar e para a pele.

Enquanto que dos trabalhos publicados pelas instituições brasileiras, apenas 2 trabalhos de 6, considerando publicações individuais e com parcerias do Brasil, abordam o uso em cosméticos. Os artigos em questão são *“Development and stability of intimate soap formulations using Sapindus saponaria L. extract as a*

natural surfactant”, publicado em 2023, pela Universidade Federal do Mato Grosso, além do, “*Synthesis of Polymeric Nanoparticles Using Fungal Biosurfactant as Stabilizer*”, de 2024, apresentado pela Universidade do Estado do Amazonas.

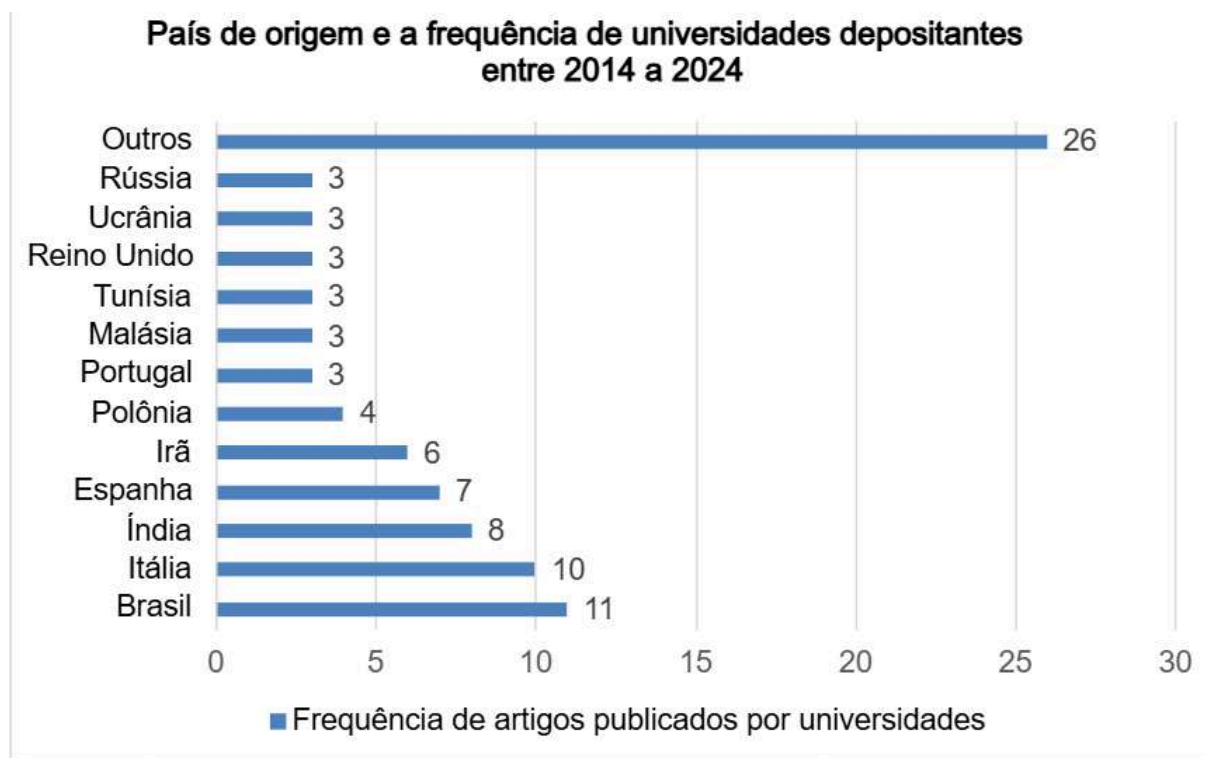


Figura 13 - País de origem e a frequência de universidades que publicaram entre 2014 a 2024. Fonte: Base: SCOPUS; período 2014-2024.

Tabela 1 - Países com mais Universidades recorrentes entre 2014 a 2024.

Universidade	País	Nº de Publicações
Universidade de Vigo	Espanha	4
Universidade Católica de Pernambuco	Brasil	3
Universidade Federal Rural de Pernambuco	Brasil	3
Universidade Ulster	Reino Unido	3

Universidade de Ciências Médicas de Kerman	Irã	3
Universidade Politécnica da Catalunha	Espanha	3
Universidade do Minho	Portugal	2
Universidade de Sfax	Tunísia	2
Universidade Putra da Malásia	Malásia	2
Universidade do Piemonte Oriental	Itália	2
Universidade Islâmica Azad	Irã	2
Universidade Nacional de Medicina Danylo Halytsky, Lviv	Ucrânia	2
Universidade Maria Curie-Skłodowska	Polônia	2
Universidade de Ciência de Tóquio	Japão	2
Universidade de Milão	Itália	2
Universidade Estadual de Campinas	Brasil	1
Universidade Federal do Amazonas	Brasil	1
Universidade Federal do Mato Grosso	Brasil	1
Universidade do Estado do Amazonas	Brasil	1
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)	Brasil	1
Universidade de Talca	Chile	1
Instituto de Tecnologia Química	Índia	1
Fundação Educacional Koneru Lakshmaiah	Índia	1
Faculdade PDVP	Índia	1
Universidade Anna	Índia	1

Instituto de Tecnologia Bannari Amman	Índia	1
Instituto Birla de Tecnologia e Ciência	Índia	1
Universidade Thiruvalluvar	Índia	1
Instituto SRM de Ciência e Tecnologia	Índia	1
Universidade Ain Shams	Egito	1
Universidade de Ancara	Turquia	1
Universidade de Zhejiang	China	1
Universidade de Jiangnan	China	1
Universidade Gadjah Mada	Indonésia	1
Instituto de Tecnologia de Bandung	Indonésia	1
Universidade de Trento	Itália	1
Politécnico de Turim	Itália	1
Universidade de Bolonha	Itália	1
Universidade de Gênova	Itália	1
Universidade de Pavia	Itália	1
Universidade de Ferrara	Itália	1
Universidade de Umeå	Suécia	1
Universidade Mayor de San Andrés	Bolívia	1
Universidade de Lisboa	Portugal	1
Universidade Jônica	Grécia	1
Universidade de Boston	EUA	1
Universidade Purdue	EUA	1
Universidade de Ciências Ambientais e da Vida de Wrocław	Polônia	1

Universidade Tecnológica de Poznań	Polônia	1
Universidade Nacional Ivan Franko de Lviv	Ucrânia	1
Universidade Federal de Kazan	Rússia	1
Universidade RUDN	Rússia	1
Universidade Estatal de Tula	Rússia	1
Universidade de Basra	Iraque	1
Universidade Mustansiriyah	Iraque	1
Universidade de Tecnologia e Economia de Budapeste	Hungria	1
Universidade Rajabhat de Phuket	Tailândia	1
Universidade Príncipe de Songkla	Tailândia	1
Universidade de Oslo	Noruega	1
Universidade de Hohenheim	Alemanha	1
Universidade de Sydney	Austrália	1
Universidade Yeungnam	Coreia do Sul	1
Universidade Rei Saud	Arábia Saudita	1
Universidade de Gabès	Tunísia	1
Universidade de Ngaoundéré	Camarões	1
Universidade de Stellenbosch	África do Sul	1

Fonte: Base: SCOPUS; período 2014-2024.

4.3 RESULTADOS NÍVEL MESO DOS ARTIGOS

Como ilustrado no gráfico presente na figura 14, 65 artigos possuem biossurfactantes como tema principal. No entanto, apenas 29 deles demonstraram

alguma aplicabilidade na indústria cosmética, que são de interesse no presente trabalho.

A partir deles, 57 apresentaram a técnica de produção, 58 o agente de produção que foi utilizado, 55 o meio de produção escolhido, mas apenas 53 deles ditam qual a técnica de obtenção da biomolécula de interesse. Nota-se que todos os artigos que citam biossurfactantes apresentam quais são as propriedades relacionadas aos mesmo.



Figura 14 - Participação dos artigos da taxonomia da análise do nível Meso.

Fonte: Base: SCOPUS; período 2014-2024.

A figura 15 traz as publicações durante os anos, em relação à classificação do nível Meso. Nota-se uma tendência de crescimento do número de artigos a partir de 2020, mas houve uma redução em 2024, como mencionado anteriormente. A publicação de artigos com aplicação na indústria de cosméticos apresenta uma tendência de aumento após 2021, chegando a um número máximo de 6 artigos nos anos de 2022 e 2023.

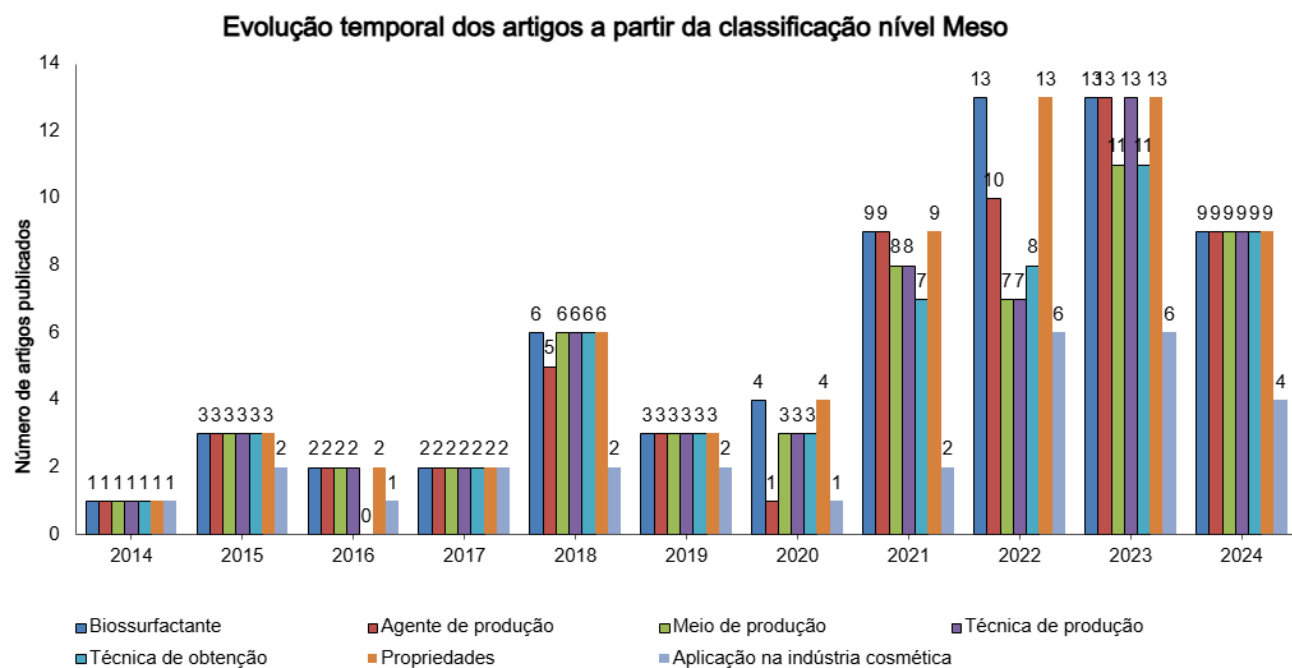


Figura 15 - Evolução temporal da classificação do nível Meso.

Fonte: Base: SCOPUS; período 2014-2024.

4.4 RESULTADOS NÍVEL MICRO DOS ARTIGOS

A última análise prospectiva é a do nível Micro, responsável pelo aprofundamento dos itens obtidos na análise do nível Meso. Nesta etapa, os tópicos presentes na taxonomia do nível Meso foram subdivididos, com o intuito de aprofundar e identificar as informações desejadas sobre biossurfactantes com aplicações cosméticas. Abaixo segue a subdivisão da taxonomia do nível Meso.

- **Biossurfactantes:** “*Glicolipídios*”, “*Lipopeptídeos e Lipoproteínas*”, “*Fosfolipídios e ácidos graxos*”, “*Glicopeptídeos e Glicolipopeptídeos*” e “*Bioemulsificantes*”.
- **Agentes de Produção:** “*Bactérias*”, “*Fungos*”, “*Leveduras*” e “*Outras origens*”.
- **Meio de Produção:** “*Glicose*”, “*Glicerol*”, “*Resíduos agro industriais e alimentícios*”, “*Óleos*” e “*Outros substratos*”.
- **Técnica de produção:** “*Fermentação*”, “*Extração*” e “*Outra produção*”.

- **Técnica de obtenção:** “Extração”, “Separação - centrifugação”, “Separação - meio físico”, “Precipitação”, “Lavagem”, “Secagem/Evaporação” e “Liofilização”.
- **Propriedades:** “Emulsificação”, “Detergência”, “Formação de espumas”, “Hidratação”, “Atividade antimicrobiana”, “Solubilização” e “Outras propriedades”.
- **Aplicação na Indústria cosmética:** “Aplicação em formulações capilares” e “Aplicação em formulações para a pele”.
- **Escalonamento:** “Escala laboratorial”, “Escala piloto” e “Escala Industrial”.

4.4.1 CLASSE E ORIGEM DOS BIOSSURFACTANTES

A figura 16 mostra a distribuição dos documentos classificados para a taxonomia “Biossurfactantes”, que apresenta as classes mais comumente vistas nas publicações avaliadas. Assim, os glicolipídios aparecem em 39 publicações frente aos demais. O que indica que são os mais estudados e com mais histórico publicados, enquanto aos demais são 13 artigos sobre lipopeptídeos e lipoproteínas, 8 de bioemulsificantes, 3 de glicopeptídeos e glicolipopeptídeos e 2 fosfolipídios ou ácidos graxos.

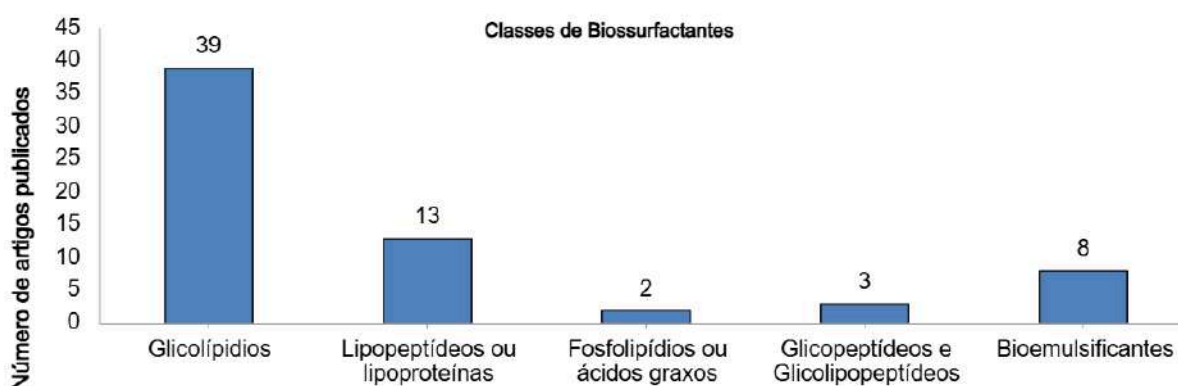


Figura 16 - Classificação dos Biossurfactantes.

Fonte: Base: SCOPUS; período 2014-2024.

Em relação a origem de produção, a Figura 17 traz a distribuição dos microrganismos produtores. É possível concluir que são expressivamente maior o número de artigos que utilizam bactérias como produtores, apresentando 38

publicações, em segunda posição às leveduras com 15, 9 de outras origens e 2 citam a utilização de fungos. Em “outras origens” temos aqueles em que as biomoléculas já são extraídas prontas - por exemplo, de vegetais ou de resíduos como o licor de milho -, ou de produção química controlada.

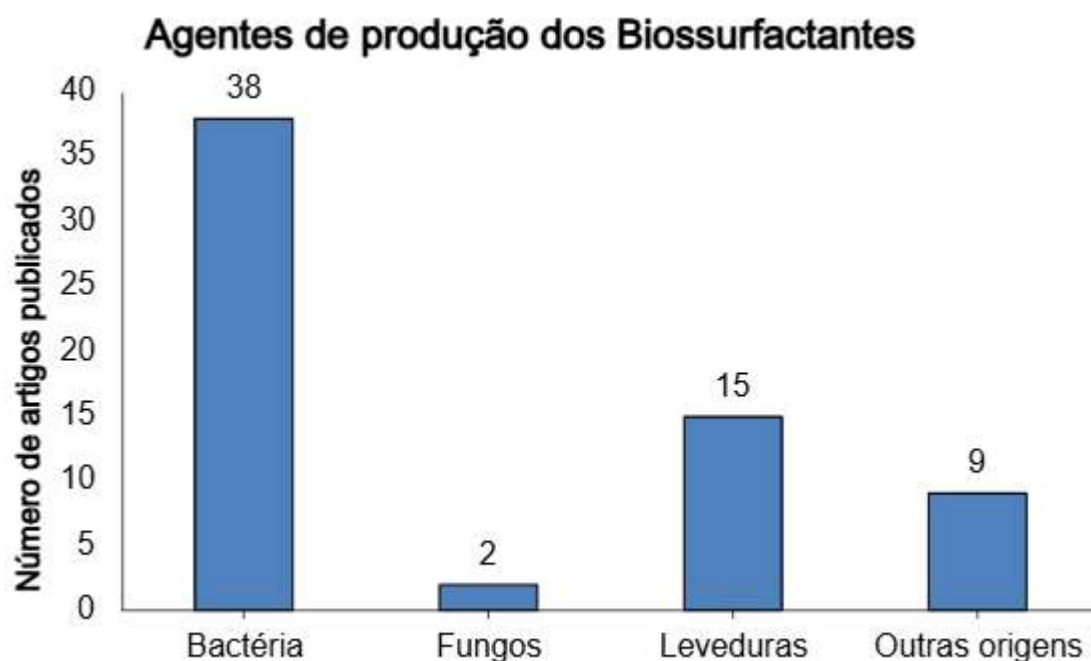


Figura 17 - Agentes de produção dos Biossurfactantes.

Fonte: Base: SCOPUS; período 2014-2024.

Vale ressaltar que quando analisados os artigos que citam sobre aplicações cosméticas, são utilizados biossurfactantes de todas as classes da taxonomia analisada, tanto quanto observados em relação aos tipos de agentes dos biossurfactantes. Pode-se dizer também, como visto na pesquisa geral, que há uma maior presença na classe de Glicolipídeos e da utilização de bactérias na aplicabilidade em questão.

Pode-se trazer de exemplo, o artigo dos autores Abdul Hamid, Mohd Shamzi e Lai Yee (2019) “*Development of palm fatty acid distillate-containing medium for biosurfactant production by Pseudomonas sp. LM19*”, no qual descreve que a

classe do biossurfactante descrita é da família dos Glicolipídeos, mais especificamente dos Ramnolipídeos, produzidos pela bactéria *Pseudomonas sp.* LM19.

No trabalho “Nanoemulsions: A review on the conceptualization of treatment for psoriasis using a ‘green’ surfactant with low-energy emulsification method”, os autores Ignatius Julian Dinshaw e colaboradores (2021) trazem na sua pesquisa sobre biossurfactantes da classe dos glicolipídios, produzidos por bactérias.

4.4.2 MEIOS DE PRODUÇÃO DOS BIOSSURFACTANTES

A figura 18 mostra quais são os meios de produção utilizados no cultivo dos biossurfactantes. Importante ressaltar que não é um padrão ter apenas uma matéria-prima como fonte, dessa forma, é possível observar que o somatório vai além do total de publicações avaliadas.

Nota-se que a glicose, com 21 publicações, e os óleos são os mais utilizados, enquanto os resíduos agro-industriais e alimentícios ficam na segunda posição com 18 artigos, seguido de 14 publicações que apresentam outro tipo de substratos e por fim, glicerol com 13 publicações.

Dentre os óleos utilizados são vistos óleos vegetais e óleos de origem fóssil. Dos de origem vegetal, por exemplo, a publicação realizada no Brasil de Soares e colaboradores (2024) do título “*Synthesis of Polymeric Nanoparticles Using Fungal Biosurfactant as Stabilizer*” utiliza o óleo de soja. O artigo “*Low toxicity and high surface activity of sophorolipids from Starmerella bombicola in aquatic species: A preliminary study*” de Kumano e colaboradores (2019) utiliza o óleo de palma. Com origem fóssil, o artigo de origem no Brasil com colaboração do Chile e Estados Unidos, de Jackisch-Matsuura (2014) - “*Production and characterization of surface-active compounds from Gordonina amicalis*” utiliza como meio o diesel.

Já para os resíduos agroindustriais utilizados, foram citados: melaço, licor de milho, óleos residuais de fritura, ácidos graxos do óleo de palma, soro de leite, hidrolisado proteico de lã e suco derivado de resíduos vegetais e frutas.

Os outros substratos encontrados são hidrocarbonetos, extrato do fruto Bilimbi Bilimbi, resíduos petroquímicos, glicerol derivado de resíduos de biodiesel, óleo de motor, extrato de S. Saponaria, extrato de leveduras com sais, ágar de Man, Rogosa e Sharpe (MRS) e meio salino mínimo (MSM).

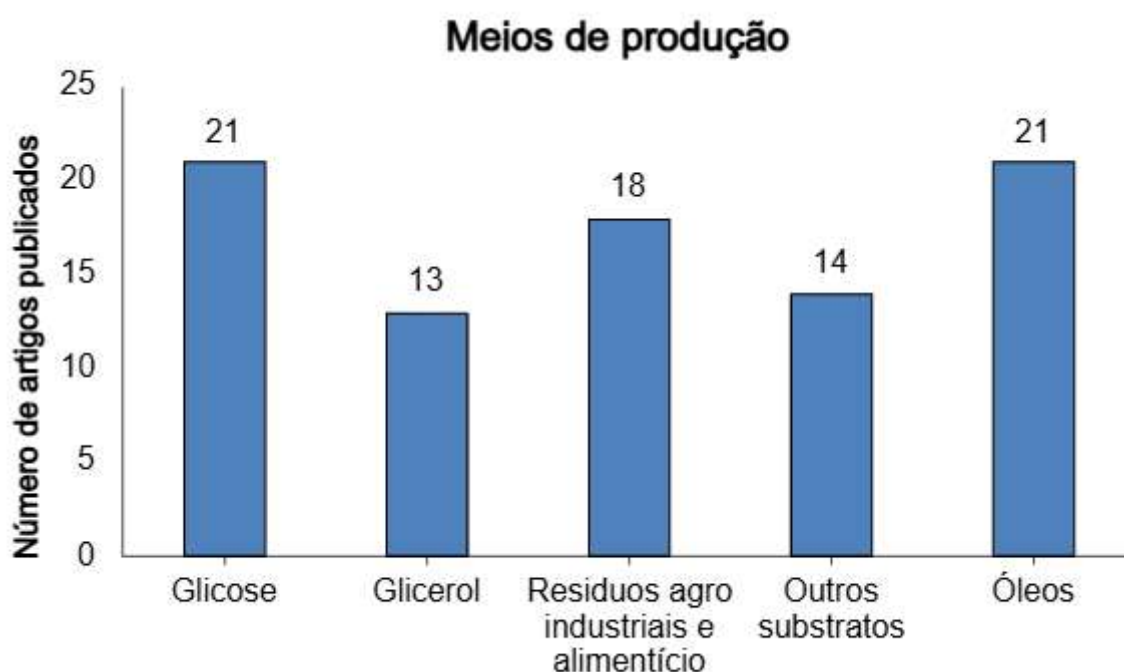


Figura 18 - Meios de produção utilizados no cultivo de Biossurfactantes.

Fonte: Base: SCOPUS; período 2014-2024.

4.4.3 TÉCNICAS DE PRODUÇÃO E OBTENÇÃO DOS BIOSSURFACTANTES

A figura 19 mostra o gráfico que apresenta as técnicas de produção que são utilizadas nas publicações estudadas. A fermentação é a técnica mais utilizada, aparecendo em 48 publicações, em seguida de extração com 15 e em “outros” são

as modalidades que apareceram com a frequência abaixo de 10% das já citadas, com 4, sendo exemplos como reação química catalisada por ácidos.

Além de indicar que a fermentação é comum entre as diferentes classes e agentes de produção de biossurfactantes, é notável citar os estudos voltados para melhorar o rendimento, porque é um item vital para a industrialização. Um exemplo é o artigo "*Optimization of biosurfactant production by Streptomyces isolated from Egyptian arid soil using Plackett–Burman design*" dos autores Abdallah Sayed Mohamed Korayem, Ahmed A. M. Abdelhafez, M. M. Zaki e E. A. Saleh (2015), o qual é um estudo de otimização.

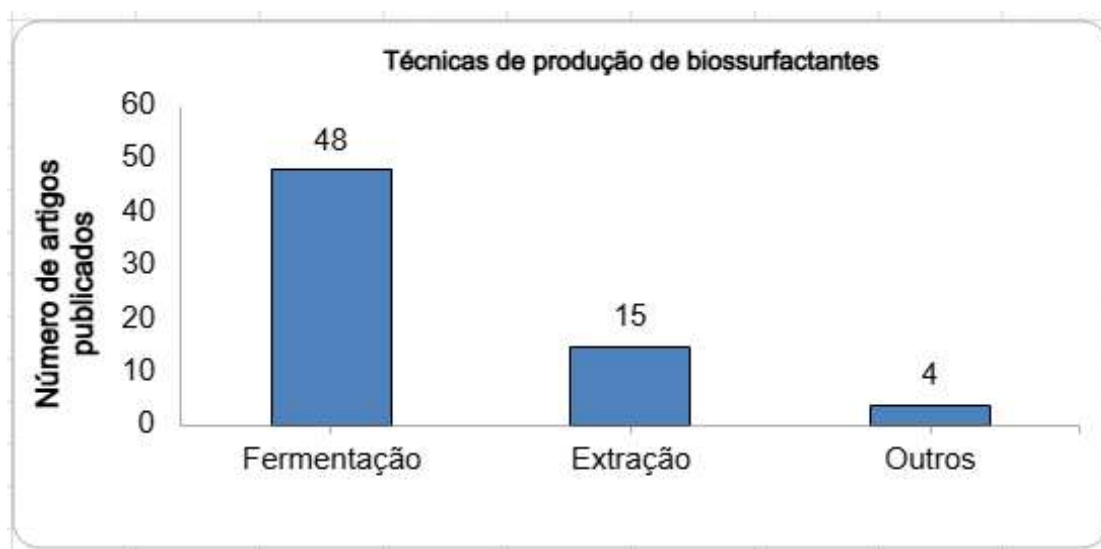


Figura 19 - Técnicas de produção dos Biossurfactantes.

Fonte: Base: SCOPUS; período 2014-2024.

Na figura 20 ilustra o gráfico com as técnicas que mais foram citadas na obtenção do produto de interesse.

Em relação às técnicas de obtenção, majoritariamente, com um total de 43 publicações, a extração tem maior presença. Em seguida, a separação por centrifugação com 37 e a secagem/evaporação com 31 publicações. A ordenação das demais técnicas segue, respectivamente, lavagem, separação utilizando um meio físico, precipitação e por fim, liofilização.

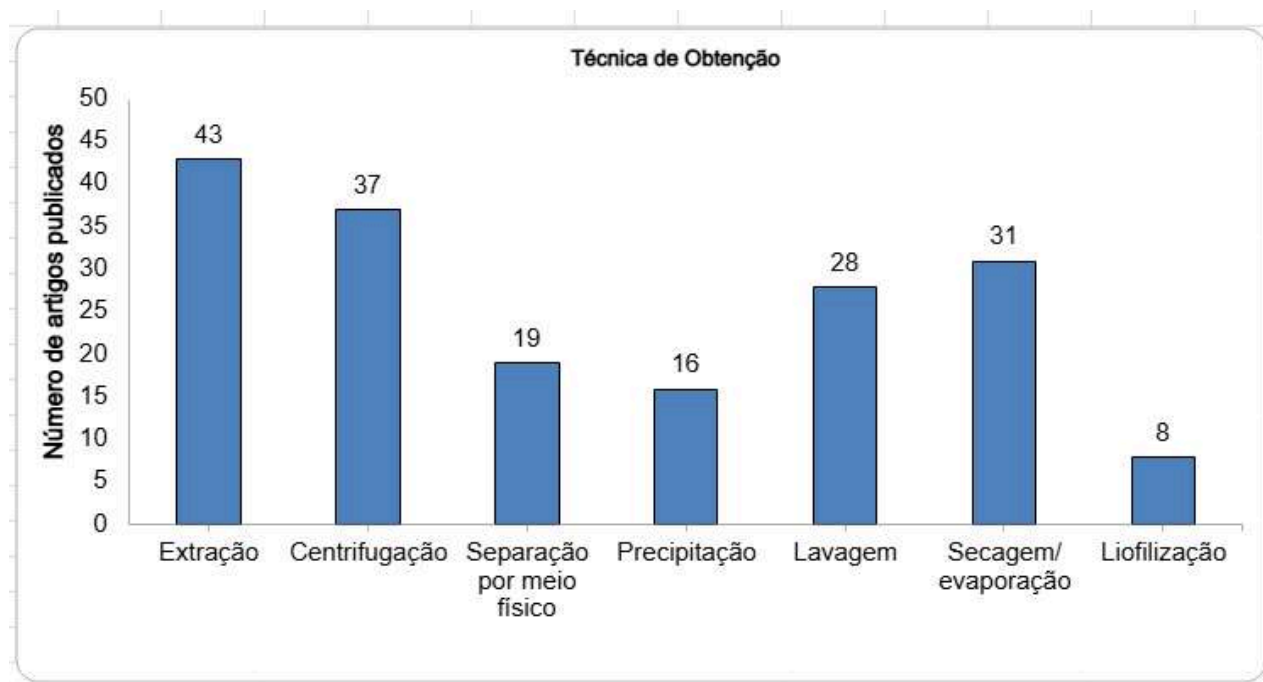


Figura 20 - Técnicas utilizadas na obtenção dos biossurfactantes.
Fonte: Base: SCOPUS; período 2014-2024.

4.4.4 PROPRIEDADES DOS BIOSSURFACTANTES

Na sequência, a figura 21 traz a distribuição entre as propriedades mais observadas entre os biossurfactantes analisados. Vale-se ressaltar que esses atributos não apareceram de forma unitária, e então, não iremos obter uma relação direta com o número de artigos mapeados.

A principal característica atribuída é a de emulsificação, seguida da atividade microbiana. As demais seguem uma média similar entre 10 a 8 publicações citando-as. A propriedade emulsificante, para formulações cosméticas, é de extrema importância na categoria de tensoativos. São requeridos aos produtos limpantes até os condicionantes, para pele e cabelo. A posição de destaque para a propriedade em questão indica o bom posicionamento que os biossurfactantes têm ao serem a troca direta aos surfactantes convencionais.

Pode-se trazer como exemplos das propriedades mais exploradas, o artigo produzido por Ani Jackisch-Matsuura e colaboradores (2014) "*Production and characterization of surface-active compounds from Gordonia amicalis*", como também a publicação de Angela abruzzo e parceiros (2021) "*Influence of lactobacillus biosurfactants on skin permeation of hydrocortisone*", que exploram a propriedade de emulsificação dos biossurfactantes. Também é possível trazer o artigo produzido por Vinit Bajaj e Uday Annapurna (2015) "*Castor Oil as Secondary Carbon Source for Production of Sophorolipids Using Starmerella Bombicola NRRLY-17069*" que se diz respeito à utilização para fins antimicrobianos.

A figura 21 também traz que "Outras propriedades" apresentam maior quantidade de citações, porém como é considerado o somatório, não foi considerada como a de maior expressão. Entre outros, podemos citar biorremediação, atividade antifúngica, antiinflamatória, molhabilidade, remoção de biofilme, estabilizador de vitamina C e potencial aumento da proteção contra os raios UV.

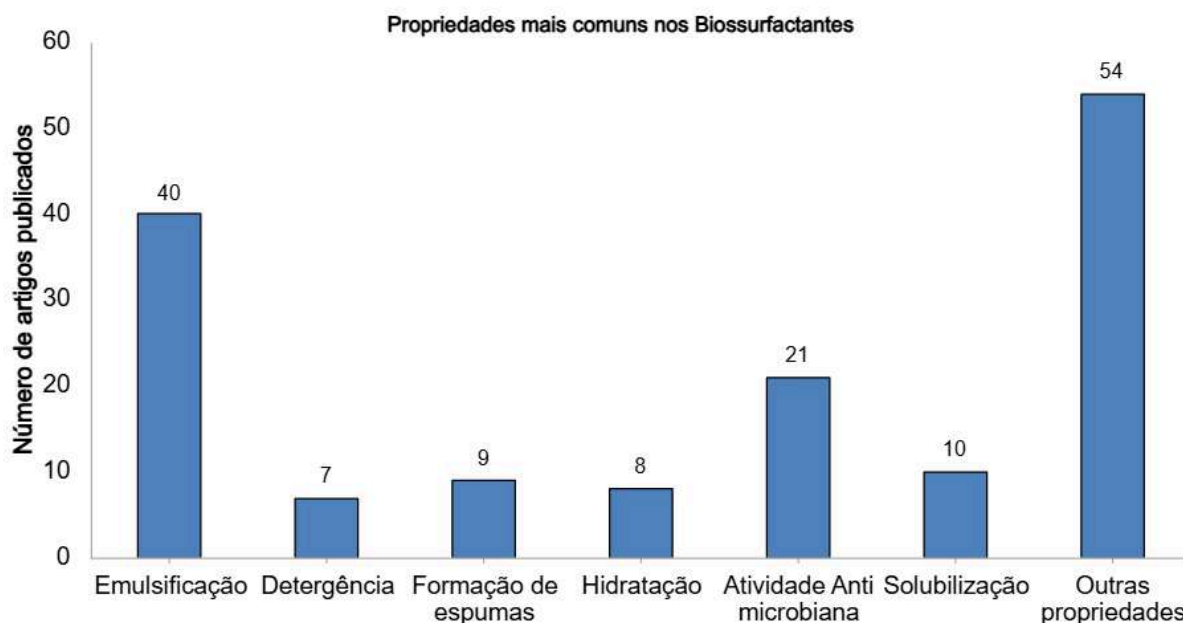


Figura 21 - Propriedades mais comuns nos Biossurfactantes.

Fonte: Base: SCOPUS; período 2014-2024.

4.4.5 APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA COSMÉTICA DOS BIOSSURFACTANTES

A figura 22 apresenta qual é o foco das publicações que possuem como objetivo a aplicação na indústria cosmética, sendo divididas em produtos voltados para formulações capilares ou para pele, mas também há artigos com a finalidade ser para ambos. Do total, 68% possuem aplicação em formulações para pele, enquanto 32% são para formulações capilares.

Com o foco em produtos capilares, pode-se trazer a publicação de M. Rincón-Fontán e colaboradores de 2017, *“Influence of micelle formation on the adsorption capacity of a biosurfactant extracted from corn on dyed hair”*. Já com o foco apenas em produtos para pele, Mouna Bouassida, Nada Fourati, Mnif Ines e Dhouha Ghridi em 2023, publicam *“Basis for the formulation of Bacillus subtilis SPB1 Biosurfactant to achieve low interfacial tension and hight emulsification activities: development of a bio-based formula with potential use for personal care products”*.

Interessantemente, das publicações estudadas, algumas possuem como o foco de aplicação produtos de pele e capilares, característica interessante, visto que

consegue abordar uma maior variedade de produtos. Por exemplo, o artigo *“Application of yeast glycolipid biosurfactant, mannosylerythritol lipid, as agrospreaders”* de 2015, realizado no Japão por Tokuma Fukuoka e parceiros. Também recentemente, a publicação feita em 2024, por Shahnaz Sultana e colaboradores com o título *“An industrially potent rhamnolipid-like biosurfactant produced from a novel oil-degrading bacterium, Bacillus velezensis S2”*.

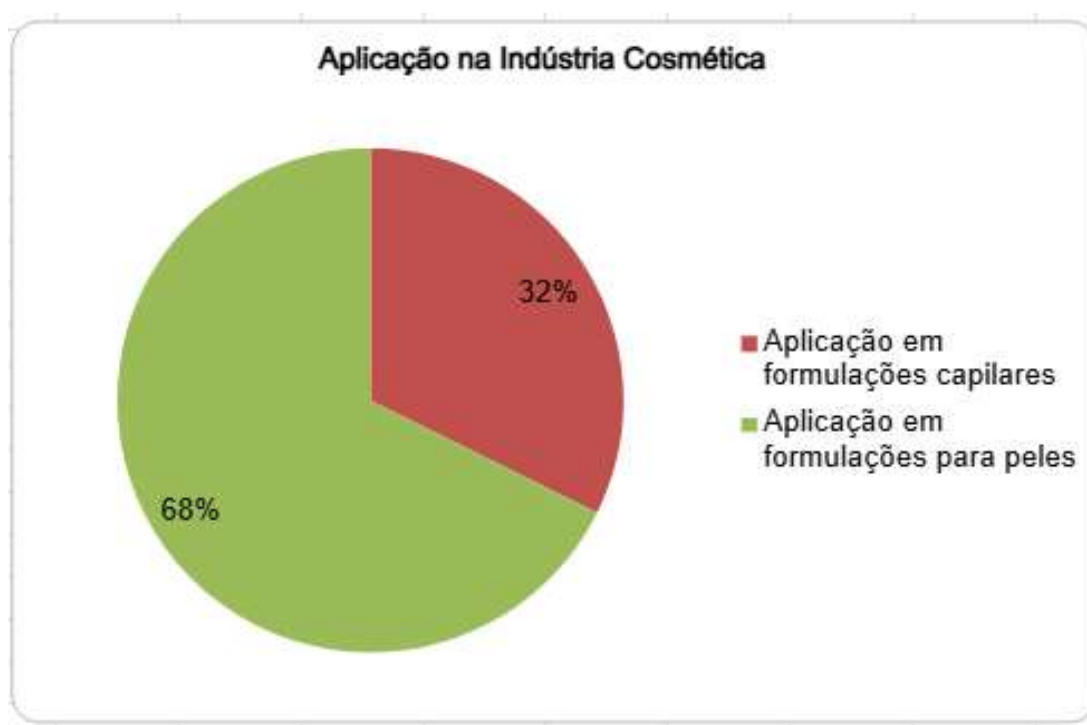


Figura 22 - Aplicação nas Indústria cosmética.

Fonte: Base: SCOPUS; período 2014-2024.

4.4.6 ESCALAS DAS PESQUISAS DOS BIOSSURFACTANTES

A figura 23 apresenta em qual fase de desenvolvimento e aplicação na prática estão as pesquisas. Observa-se que o somatório vai além das 65 publicações avaliadas, pois há artigos que demonstram estudos em dois tipos de escalabilidade.

No artigo, *“Glycolipid Biosurfactants, Mannosylerythritol Lipids: Distinctive Interfacial Properties and application in cosmetic and personal care products”*, de

Kimoto e colaboradores (2021), por exemplo, traz que os biossurfactantes MEL, *mannosylerythritol lipids*, além da tecnologia estar em escala laboratorial, já apresenta produção comercial, eles inclusive citam que a produção é realizada por uma companhia Japonesa - TOYOBO.

São 63 publicações em escala laboratorial, correspondente a 93%, enquanto 6% estão em níveis piloto e apenas 1% em aplicação industrial. Esse comportamento reflete muito sobre como está o panorama da pesquisa sobre biossurfactantes, como já apresentado anteriormente, ainda existe uma dificuldade de escalonamento por conta dos altos custos de produção.

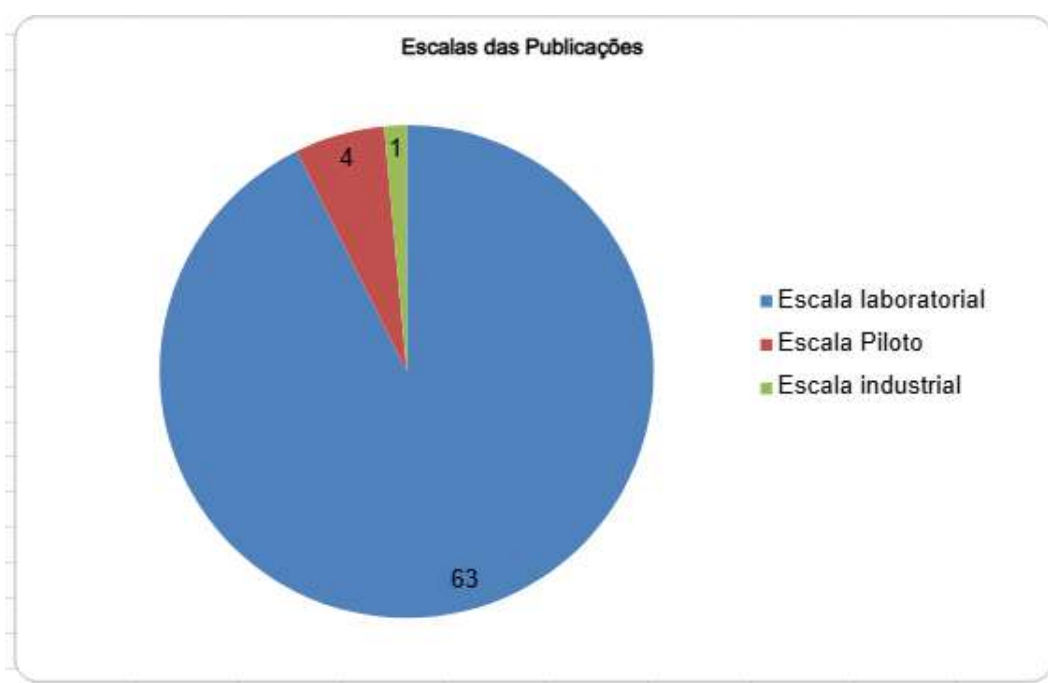


Figura 23 - Escala das pesquisas dos biossurfactantes.

Fonte: Base: SCOPUS; período 2014-2024.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO

A partir da evolução temporal mapeada no presente trabalho, é possível perceber o aumento de artigos publicados no período entre 2021 a 2023. Antes desse momento, a pesquisa não apresentava relevância, como, por exemplo, em 2016 e 2017 apenas 2 estudos foram apresentados em cada ano. Com o foco nas publicações que apresentam cosméticos como objetivo, é possível observar uma tendência similar, com o aumento de publicações durante os anos de 2022 a 2023. Nos anos que antecedem esse recorte, há uma média de 1 artigo gerado. Também é possível notar que esse período é mais direcionado a novas vertentes em relação aos temas abordados. No entanto, tal produção científica no período temporal reportado ainda não é suficiente para pôr os biossurfactantes como uma pronta substituição direta frente aos surfactantes sintéticos tradicionais.

Outra análise interessante é sobre o comportamento global de igualdade intelectual, o que mostra que todos os países estão similares em patamar de conhecimento. Quando observado para qual território tem a tendência de destaque produção de conteúdo temos Japão e Índia que lideram o ranking entre os países, seguido por Brasil, Irã, Itália e Espanha.

Importante trazer que há um destaque nas entidades que geraram os artigos, sendo a maioria por universidades, podendo levantar a hipótese de que os estudos e a produção dos biossurfactantes ainda se encontram em uma fase inicial/laboratorial de pesquisa. A informação de que apenas uma pequena porcentagem das publicações foram originadas por empresas confirma essa possibilidade. Interessante notar que a origem da universidade responsável por gerar maior número de artigos é a Universidade de Vigo, na Espanha, e que todos os documentos publicados possuem aplicabilidade cosmética.

O conteúdo desses artigos foi destrinchado a partir da taxonomia do nível Meso, é possível chamar a atenção a uma tendência de homogeneidade entre os

assuntos abordados em um determinado período. Até 2020 a maioria dos documentos tendem a falar sobre Biossurfactantes e suas propriedades, além de todo o processo de produção como os agentes, os meios e as técnicas. Ou seja, a abordagem é mais direcionada a caminhar em direção a autoridade no tema. Sendo assim, quando olhamos para o período em que temos o aumento das publicações, mencionado anteriormente, há vertentes novas sendo abordadas. Já não são todos os artigos que focam nos microrganismos e em sua técnica produtiva e obtenção, pois é apresentado outras origens como a extração em vegetais, em resíduos agro-industriais ou então o tema do estudo é sobre a eficácia de determinada biomoléculas, que pode ser comprada de fornecedores para alimentar a pesquisa e não produzida para tal.

Como observado, as propriedades dos biossurfactantes são consideradas em todas as publicações analisadas, também é válido destacar que são moléculas que possuem uma grande variedade de possíveis utilizações, esse fato pode ser notado quando a maior quantidade de aplicação se encontra em “outras propriedades”, que englobam diferentes possíveis ações, distintas das que foram mapeadas como mais citadas. Nos artigos estudados, uma grande parte explora sobre a sua utilização no processo de emulsificação e também na sua ação antimicrobiana, importantes mecanismos para a indústria dos cosméticos.

Portanto, as evidências obtidas no presente trabalho informa que ainda há um grande caminho a ser percorrido em relação ao uso de biossurfactantes em produtos cosméticos. O peso desse mercado traduz o volume de moléculas de origem fóssil que são produzidas e descartadas em todo o mundo, o que reforça a necessidade de buscar por alternativas. Ainda que existam empresas que consigam comercializar biossurfactantes a nível industrial, os artigos mapeados nos mostraram que o estudo ainda é bem presente na escala laboratorial e nem todos apresentam aplicações cosméticas, reforçando a gama de oportunidades que ainda há de ser descoberta para a produção de bens de consumo eficazes e que agredam menos a natureza e os seres humanos.

CAPÍTULO 6 – REFERÊNCIAS

ABD ALLAH, Sara Hassan; ADEL, Mahmoud M.; SALEH, Rehab M.; KHADER, Ahmed; HASSAN, Khaled A. **Basis for the formulation of *Bacillus subtilis* SPB1 biosurfactant to achieve low interfacial tension and high emulsification activities: development of a bio-based formula with potential use for personal care products.** *Water Practice & Technology*, [s.l.], v. 18, n. 3, p. 739–751, set. 2023. DOI: 10.2166/wpt.2023.052.

ADU, Simms A.; NAUGHTON, Patrick J.; MARCHANT, Roger; BANAT, Ibrahim M. **Microbial biosurfactants in cosmetic and personal skincare pharmaceutical formulations.** *Pharmaceutics*, Basel, v. 12, n. 11, art. 1099, nov. 2020. DOI: 10.3390/pharmaceutics12111099. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics12111099>. Acesso em: 02 jun. 2025.

ADU, Simms A.; TWIGG, Matthew S.; NAUGHTON, Patrick J.; MARCHANT, Roger; BANAT, Ibrahim M. **Biosurfactants as anticancer agents: glycolipids affect skin cells in a differential manner dependent on chemical structure.** *Pharmaceutics*, Basel, v. 14, n. 2, p. 360, fev. 2022. DOI: 10.3390/pharmaceutics14020360.

AKBARI, Sweeta; NOUR, Abdurahman Hamid; YUNUS, Rosli Mohd; FARHAN, Abdurahman Hasan. **Biosurfactants as promising multifunctional agent: a mini review.** *International Journal of Innovative Research and Scientific Studies*, Gambang, v. 1, n. 1, p. 1–5, set. 2018. DOI: 10.53894/ijirss.v1i1.2. Disponível em: <https://doi.org/10.53894/ijirss.v1i1.2>. Acesso em: 05 fev. 2025.

ALIMEER, Dijlah A. **Extraction and purification of biosurfactant by locally isolated *Enterococcus faecium* and study of its antimicrobial activity.** *Journal of Global Innovations in Agricultural Sciences*, Bagdá, v. 11, n. 4, p. 543–548, 2023. DOI: 10.22194/JGIAS/23.1102.

ALLEGRONE, Gianna; CERESA, Chiara; RINALDI, Maurizio; FRACCHIA, Letizia. **Diverse effects of natural and synthetic surfactants on the inhibition of *Staphylococcus aureus* biofilm.** *Pharmaceutics*, Basel, v. 13, n. 8, p. 1172, 29 jul. 2021. DOI: 10.3390/pharmaceutics13081172. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13081172>.

ALMEIDA, João Paulo de Souza; SILVA, Rafael de Oliveira; SILVA, José de Lima e. **Development and stability of intimate soap formulations using *Sapindus saponaria* L. extract as a natural surfactant.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 23, n. 5, p. 335–340, mai. 2019. DOI: 10.1590/1519-6984.276940.

AL-SERAIBH, Alaa A.; SWADI, Wael A.; AL-HEJAJ, Murtakab Y.; AL-LAIBAI, Fatima H.; GHADBAN, Amal K. **Glycolipopeptide biosurfactant from *Bacillus pumilus* SG: physicochemical characterization, optimization, antibiofilm and antimicrobial activity evaluation.** *3 Biotech*, [s.l.], v. 13, n. 4, p. 287, abr. 2023. DOI: 10.1007/s13205-023-03728-3.

AL-SERAIBH, Alaa A.; SWADI, Wael A.; AL-HEJAJ, Murtakab Y.; AL-LAIBAI, Fatima H.; GHADBAN, Amal K. **Isolation and partial characterization of glycolipopeptide biosurfactant derived from a novel *Lactiplantibacillus plantarum* Lbp_WAM.** *Basrah Journal of Agricultural Sciences*, Basra (Iraq), v. 35, n. 2, p. 78–98, set. 2022. DOI: 10.37077/25200860.2022.35.2.06.

ABRUZZO, Angela; PAROLIN, Carola; CORAZZA, Elisa; GIORDANI, Barbara; DI CAGNO, Massimiliano Pio; CERCHIARA, Teresa; BIGUCCI, Federica; VITALI, Beatrice; LUPPI, Barbara. **Influence of *Lactobacillus* biosurfactants on skin permeation of hydrocortisone.** *Pharmaceutics*, Basel, v. 13, n. 6, art. 820, jun. 2021. DOI: 10.3390/pharmaceutics13060820. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13060820>. Acesso em: 02 jun. 2025.

BAHRUTH, E. B.; ANTUNES, A. M. S.; BOMTEMPO, J. V. **Prospecção Tecnológica na Priorização de Atividades de CeT. In: Gestão em Biotecnologia.** Rio de Janeiro: Editora E-papers, 2006. p. 300–324.

BANAT, Ibrahim M. et al. **Microbial biosurfactants: production, applications and future potential.** *Applied Microbiology and Biotechnology*, Berlin, v. 87, n. 2, p. 427–444, 2010. DOI: 10.1007/s00253-010-2589-0. Acesso em: 2 jun. 2025.

BANDYOPADHYAY, A.; CHAKRABORTY, S.; DAS, S.; CHAKRABORTY, S.; MUKHERJEE, A.; ROY, S. ***Averrhoa bilimbi* in organic transformation: A highly efficient and green biosurfactant for the synthesis of multi-functional chromenes and xanthenes.** *Journal of Cleaner Production*, [S.l.], v. 258, p. 120646, 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120646. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120646>.

BAJAJ, Vinit Kamalkishor; ANNAPURE, Uday S. **Castor oil as secondary carbon source for production of sophorolipids using *Starmerella bombicola* NRRL Y-17069**. *Journal of Oleo Science*, Tokushima, v. 64, n. 3, p. 315–323, mar. 2015. DOI: 10.5650/jos.ess14214. Disponível em: <https://doi.org/10.5650/jos.ess14214>.

BERGSTRÖM, Josefine; MONTES-CLAROS, Eduardo; SZABÓ, Tamás et al. **From Lactose to Alkyl Galactoside Fatty Acid Esters as Non-Ionic Biosurfactants: A Two-Step Enzymatic Approach to Cheese Whey Valorization**. *ChemPlusChem*, Weinheim, v. 87, n. 11, p. 2033–2044, nov. 2022. DOI: [10.1002/cplu.202200331](https://doi.org/10.1002/cplu.202200331).

BISCONTI, F.; DI QUINTO, F.; DE GRADO, G. F.; PETRINI, P.; SABATINI, L.; PESCARA, T.; DI MARCO, P.; PASCAL, S.; D'ANNIBALE, A.; PETRUCCI, F.; CAVALLI, R.; DI DOMENICO, E. G. **Medical-grade silicone coated with rhamnolipid R89 is effective against *Staphylococcus* spp. biofilms**. *International Journal of Molecular Sciences*, [S.l.], v. 20, n. 18, p. 1-13, 2019. DOI: 10.3390/ijms20184328. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms20184328>.

BOUASSIDA, Mouna; FOURATI, Nada; GHAZALA, Imen; ELLOUZE-CHAABOUNI, Semia; GHRIBI, Dhouha. **Potential application of *Bacillus subtilis* SPB1 biosurfactants in laundry detergent formulations: compatibility study with detergent ingredients and washing performance**. *Engineering in Life Sciences*, Weinheim, v. 18, n. 1, p. 70–77, nov. 2017. DOI: 10.1002/elsc.201700152. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/elsc.201700152>. Acesso em: 02 jun. 2025.

BOUASSIDA, Mouna; FOURATI, Nada; MNIF, Inès; GHRIBI, Dhouha. **Basis for the formulation of *Bacillus subtilis* SPB1 biosurfactant to achieve low interfacial tension and high emulsification activities: development of a bio-based formula with potential use for personal care products**. *Water Practice & Technology*, vol. 18, no. 5, p. 1125–1137, maio 2023. DOI: 10.2166/wpt.2023.052. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/wpt.2023.052>. Acesso em: 03 fev. 2025.

BRUMANO, Larissa Pereira; SOLER, Matheus Francisco de Carvalho Rosa; SILVA, Silvio Silvério da. **Recent advances in sustainable production and application of biosurfactants in Brazil and Latin America**. *Industrial Biotechnology*, New Rochelle, v. 12, n. 1, p. 31–39, fev. 2016. DOI: 10.1089/ind.2015.0027. Disponível em: <https://doi.org/10.1089/ind.2015.0027>.

BUCCI, A. R.; GIORDANI, B.; CRUZ, J. M. **Potential application of *Bacillus subtilis* SPB1 lipopeptides in toothpaste formulation.** *Journal of Advanced Research*, [s.l.], v. 8, n. 4, p. 425–433, abr. 2017. DOI: 10.1016/j.jare.2017.04.002. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jare.2017.04.002>.

COELHO, G. M. **Prospecção tecnológica: metodologias e experiências nacionais e internacionais: tendências tecnológicas: nota técnica 14.** Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Tecnologia, 2003. Projeto CTPETRO

COSTA, M. J. C.; SOUZA, J. T.; LEITE, V. D.; LOPES, W. S.; SANTOS, K. D. **Co-digestão anaeróbia de substâncias surfactantes, óleo de lodo de esgoto.** *Eng. Sanit. Ambient.* v.12, n.4, p. 433-439, 2007

DALTIN, D. **Introdução e primeiros conceitos. Tensoativos: química, propriedades e aplicações.** São Paulo: Blucher, 2011. Cap. 1, p. 1-44.

DAZA, Sandra C.; GONZÁLEZ, Alba I.; PÉREZ, Olga M. et al. **Sustainable Routes for Wool Grease Removal Using Green Solvent Cyclopentyl Methyl Ether in Solvent Extraction and Biosurfactant Wool Protein Hydrolyzate in Scouring.** *Processes*, Basel, v. 11, n. 5, p. 1309, maio 2023. DOI: [10.3390/pr11051309](https://doi.org/10.3390/pr11051309).

DESAI, J. D.; BANAT, I. M. **Microbial production of surfactants and their commercial potential.** *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, Washington, v. 61, n. 1, p. 47–64, mar. 1997. DOI: 10.1128/MMBR.61.1.47-64.1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1128/MMBR.61.1.47-64.1997>. Acesso em: 05 fev. 2025.

DINSHAW, Ignatius Julian; AHMAD, Noraini; SALIM, Norazlinaliza; LEO, Bey Fen. **Nanoemulsions: a review on the conceptualization of treatment for psoriasis using a ‘green’ surfactant with low-energy emulsification method.** *Pharmaceutics*, Basel, v. 13, n. 7, p. 1024, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13071024>.

ERAS-MUÑOZ, Estefanía; FARRÉ, Abel; SÁNCHEZ, Antoni; FONT, Xavier; GEA, Teresa. **Microbial biosurfactants: a review of recent environmental applications.** *Bioengineered*, v. 13, n. 5, p. 12365–12391, 2022. DOI: 10.1080/21655979.2022.2074621.

ESZTERBAUER, Edina; KISS, Bernadett; SAKIYO, Jesse et al. **Investigations on Applied Microbiology Regarding Carbon Capture, and Fermentative**

Production of the Ingredients in Sweeteners, Agricultural Biosurfactants and Cosmetics. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, Budapeste, v. 67, n. 4, p. 618–623, set. 2023. DOI: [10.3311/PPch.22821](https://doi.org/10.3311/PPch.22821).

GALITSKAYA, Polina; KARAMOVA, Kamalya; BIKTASHEVA, Liliya et al. **Lipopeptides produced by *Bacillus mojavensis* P1709 as an efficient tool to maintain postharvest cherry tomato quality and quantity.** *Agriculture*, Basel, v. 12, n. 5, p. 609, maio 2022. DOI: [10.3390/agriculture12050609](https://doi.org/10.3390/agriculture12050609).

GASIOROWSKA, M.; MAGALHÃES, L. M.; WIDZIAK, M.; GOMES, A. M. P. **Sustainable surfactin production by *Bacillus subtilis* using crude glycerol from different wastes.** *Journal of Cleaner Production*, v. 314, 2021. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.127969. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127969>.

GRABENHOFER, Rachel. **Glycolipids lead the growing biosurfactants market.** *Cosmetics & Toiletries*, 28 fev. 2023. Disponível em: <https://www.cosmeticsandtoiletries.com/cosmetic-ingredients/cleansing/news/22737620/glycolipids-lead-the-growing-biosurfactants-market>. Acesso em: 25 maio 2025.

JACKISCH-MATSUURA, Ani Beatriz; SANTOS, Leonardo Silva; EBERLIN, Marcos Nogueira; DE FARIA, Andréia Fonseca; MATSUURA, Takeshi; GROSSMAN, Matthew James; DURRANT, Lúcia Regina. **Production and characterization of surface-active compounds from *Gordonia amicalis*.** *Brazilian Archives of Biology and Technology*, Curitiba, v. 57, n. 1, p. 138–144, fev. 2014. DOI: 10.1590/S1516-89132014000100019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-89132014000100019>.

JONES, S. W.; MARTÍNEZ, L. G.; HERNÁNDEZ, P. M.; LARSSON, C.; OLSSON, L.; ORTIZ, J. **Effects of biosurfactants on enzymatic saccharification and fermentation of pretreated softwood.** *Biotechnology for Biofuels*, [S.l.], v. 13, n. 1, p. 100, 2020. DOI: 10.1186/s13068-020-01742-1. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s13068-020-01742-1>.

JUJARU, Mădălin; PRADHAN, Karuna; GAUR, Shailee et al. **Generation of biosurfactants by *Pseudomonas aeruginosa* gi [KP163922] on waste engine oil in a free and immobilized cells system.** *Canadian Journal of Chemical*

Engineering, Toronto, v. 102, n. 11, p. 3673–3686, nov. 2024. DOI: [10.1002/cjce.25419](https://doi.org/10.1002/cjce.25419).

KACHRIMANIDOU, Vasiliki; ALEXANDRI, Maria; NASCIMENTO, Miguel Figueiredo et al. **Lactobacilli and *Moesziomyces* biosurfactants: Toward a closed-loop approach for the dairy industry.** *Fermentation*, Basel, v. 8, n. 10, p. 517, out. 2022. DOI: [10.3390/fermentation8100517](https://doi.org/10.3390/fermentation8100517).

KARAMI, Maryam; FARAJI, Ali Reza; SAREMNEZHAD, Solmaz; SOLTANI, Mostafa. **Synthesis and characterization of a lactose-based biosurfactant by a novel nanodendritic catalyst and evaluating its efficacy as an emulsifier in a food emulsion system.** *RSC Advances*, Cambridge, v. 12, n. 50, p. 32280–32296, nov. 2022. DOI: [10.1039/D2RA06958J](https://doi.org/10.1039/D2RA06958J).

KAHRAMAN, Aysun; KAZANÇOĞLU, İpek. **Understanding consumers' purchase intentions toward natural-claimed products: A qualitative research in personal care products.** *Business Strategy and the Environment*, v. 28, n. 6, p. 1218–1233, 2019. DOI: 10.1002/bse.2312. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/bse.2312>. Acesso em: 03 fev. 2025.

KARNWAL, Arun; SHRIVASTAVA, Seweta; AL-TAWAHA, Abdel Rahman Mohammad Said; KUMAR, Gaurav; SINGH, Rattandeep; KUMAR, Anupam; MOHAN, Anand; YOGITA; MALIK, Tabarak. **Microbial biosurfactant as an alternate to chemical surfactants for application in cosmetics industries in personal and skin care products: a critical review.** *BioMed Research International*, [S.l.], v. 2023, p. 1–21, 13 abr. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2023/2375223>. Acesso em: 2 jun. 2025.

KASKATEPE, Banu; YILDIZ, Sulhiye. **Rhamnolipid biosurfactants produced by *Pseudomonas* species.** *Brazilian Archives of Biology and Technology*, Curitiba, v. 59, 2016. DOI: 10.1590/1678-4324-2016160786. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2016160786>

KLIMEK-SZCZYKUTOWICZ, Marta; BŁOŃSKA-SIKORA, Ewelina Maria; KULIK-SIAREK, Katarzyna; ZHUSSUPOVA, Aizhan; WRZOSEK, Małgorzata. **Bioferments and biosurfactants as new products with potential use in the cosmetic industry.** *Applied Sciences*, Basel, v. 14, n. 9, p. 3902, maio 2024. DOI:

10.3390/app14093902. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app14093902>. Acesso em: 03 fev. 2025.

KORAYEM, A. S.; ABDELHAFEZ, A. A. M.; ZAKI, M. M.; SALEH, E. A. **Optimization of biosurfactant production by *Streptomyces* isolated from Egyptian arid soil using Plackett–Burman design.** *Annals of Agricultural Sciences*, Cairo, v. 60, n. 2, p. 209–217, dez. 2015. DOI: 10.1016/j.aos.2015.09.001. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aos.2015.09.001>.

KUMANO, W.; NAMAKOSHI, K.; ARAKI, M.; ODA, Y.; UEDA, A.; HIRATA, Y. **Low toxicity and high surface activity of sophorolipids from *Starmerella bombicola* in aquatic species: a preliminary study.** *Journal of Environmental Biology*, [S.l.], v. 40, n. 4, p. 595–600, jul. 2019. DOI: 10.22438/jeb/40/4/MRN-871. Disponível em: <https://doi.org/10.22438/jeb/40/4/MRN-871>.

KUMAR, Prashant; SHARMA, Anil K.; VERMA, Indu. **Statistical optimization of medium components for biosurfactant production by *Achromobacter xylo* GSR21.** *Biotechnology Reports*, [S.l.], v. 21, e00316, 2019. DOI: 10.1016/j.btre.2019.e00316. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.btre.2019.e00316>.

KUPFER, D.; TIGRE, P. B. **Modelo SENAI de prospecção: documento metodológico.** Montevideo: OIT/CINTERFOR, 2004. (*Papeles de la Oficina Técnica*, n. 14).

LUKOZHENKO, Sergey; KOVALENKO, Igor; TSYBULYUK, Oleksii et al. **Modelling of the composition of emulsion medicines and cosmetics stabilized by a biocomplex of surfactant substances based on rhamnolipids *Pseudomonas* sp. PS-17.** *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, [s.l.], v. 4, n. 3(120), p. 6–15, 2023. DOI: [10.15587/2519-4852.2023.282367](https://doi.org/10.15587/2519-4852.2023.282367).

LYMAN, Mathew; RUBINFELD, Bonnee; LEIF, Roald N.; MULCAHY, Heather; DUGAN, Lawrence; SOUZA, Brian. **Rhodotorula taiwanensis MD1149 produces hypoacetylated PEFA compounds with increased surface activity compared to *Rhodotorula babjevae* MD1169.** *PLoS ONE*, San Francisco, v. 13, n. 1, e0190373, 2 jan. 2018. DOI: 10.1371/journal.pone.0190373. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190373>.

MACHADO, D.; FERRI, P.; RODRÍGUEZ-LOPEZ, L.; VECINO, X.; CRUZ, J. M. **Potential application of a multifunctional biosurfactant extract obtained from corn as stabilizing agent of vitamin C in cosmetic formulations.** *International Journal of Cosmetic Science*, [S.l.], v. 42, n. 3, p. 286–297, 2020. DOI: 10.1111/ics.12628. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ics.12628>.

MAHMOUD, Reem H.; ELHASSAN, Gehad H.; ISMAIL, Hanaa A. et al. **Biofilm Inhibition, Antibacterial and Antiadhesive Properties of a Novel Biosurfactant from *Lactobacillus paracasei* N2 against Multi-Antibiotics-Resistant Pathogens Isolated from Braised Fish.** *Fermentation*, Basel, v. 9, n. 7, p. 646, jul. 2023. DOI: [10.3390/fermentation9070646](https://doi.org/10.3390/fermentation9070646).

MARCELINO, Paulo Ricardo Franco. **Produção de biossurfactantes de segunda geração por leveduras em hidrolisado hemicelulósico de bagaço de cana-de-açúcar.** Lorena, SP: Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de Lorena, 2016.

MOLDES, A. B. et al. **Synthetic and bio-derived surfactants versus microbial biosurfactants in the cosmetic industry: an overview.** *International Journal of Molecular Sciences*, Basel, v. 22, n. 5, p. 1–20, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms22052371>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/22/5/2371>. Acesso em: 05 fev. 2025.

MUTHUKUMAR, Balakrishnan; DURAIMURUGAN, Ramanathan; PARTHIPAN, Punniyakotti et al. **Synthesis and characterization of iron oxide nanoparticles from *Lawsonia inermis* and its effect on the biodegradation of crude oil hydrocarbon.** *Scientific Reports*, [s.l.], v. 14, n. 1, p. 11335, maio 2024. DOI: [10.1038/s41598-024-61760-6](https://doi.org/10.1038/s41598-024-61760-6).

MYERS, D. **Surfactant Science and Technology.** 4. ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2006.

NOVIKOV, Alexey A.; IVANOVA, Natalia I.; PETROVA, Anastasia V. et al. **Solubilization of n-hexadecane by micellar solutions of trehalolipid—surfactants of biological origin.** *Journal of Physical Chemistry and Chemical Physics*, [s.l.], v. 19, n. 5, p. 418–428, 2024. DOI: [10.32362/2410-6593-2024-19-5-418-428](https://doi.org/10.32362/2410-6593-2024-19-5-418-428).

OLIVEIRA, G. B. **Algumas considerações sobre a inovação tecnológica: crescimento econômico e sistemas nacionais de inovação.** Revista FAE, v. 4, n. 3, p. 8-12, set/dez 2001.

ONLAMOOL, Theerawat; SAIMMAI, Atipan; MANEERAT, Suppasil. **Antifungal activity of rhamnolipid biosurfactant produced by *Pseudomonas aeruginosa* A4 against plant pathogenic fungi.** *Trends in Sciences*, [s.l.], v. 20, n. 3, p. 6524, dez. 2022. DOI: [10.48048/tis.2023.6524](https://doi.org/10.48048/tis.2023.6524).

PELEKH-BONDARUK, Iryna Romanivna; VILDANOVA, R. I.; KOBLYNSKA, L. I. et al. **Study of emulsion products stabilized with surfactants based on rhamnolipids *Pseudomonas* sp. PS-17.** *International Journal of Applied Pharmaceutics*, [s.l.], v. 14, n. 2, p. 315–318, mar./abr. 2022. DOI: [10.22159/ijap.2022v14i2.43715](https://doi.org/10.22159/ijap.2022v14i2.43715).

PRADO, Bruna S.; SILVA, Rafael O.; ALMEIDA, Luiz C. et al. **Fed-Batch Bioreactor Cultivation of *Bacillus subtilis* Using Vegetable Juice as an Alternative Carbon Source for Lipopeptides Production: A Shift towards a Circular Bioeconomy.** *Fermentation*, Basel, v. 10, n. 6, p. 323, jun. 2024. DOI: [10.3390/fermentation10060323](https://doi.org/10.3390/fermentation10060323).

PUTRA, R. B.; SUTANDI, A.; NURJAYA, I.; HADI, S.; FITRIYANI, D. **Nitrogen optimization on rhamnolipid biosurfactant production from *Pseudoxanthomonas* sp. G3 and its preservation techniques.** *Heliyon*, [S.l.], v. 6, n. 8, e04726, 2020. DOI: [10.1016/j.heliyon.2020.e04726](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04726). Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04726>.

REKIEL, Edyta; ZDZIENNICKA, Anna; SZYMCZYK, Katarzyna; JAŃCZUK, Bronisław. **Thermodynamic analysis of the adsorption and micellization activity of the mixtures of rhamnolipid and surfactin with Triton X-165.** *Molecules*, Basel, v. 27, n. 11, p. 3600, jun. 2022. DOI: [10.3390/molecules27113600](https://doi.org/10.3390/molecules27113600).

REKIEL, Edyta; ZDZIENNICKA, Anna; SZYMCZYK, Katarzyna; JAŃCZUK, Bronisław. **Wetting properties of rhamnolipid and surfactin mixtures with Triton X-165.** *Molecules*, Basel, v. 27, n. 15, p. 4706, jul. 2022. DOI: [10.3390/molecules27154706](https://doi.org/10.3390/molecules27154706).

RESEARCH AND MARKETS. **Biosurfactants Market by Type, Source, Distribution Channel and Application – Global Forecast to 2030**. Dublin: Research and Markets, maio 2025. Disponível em: <https://www.researchandmarkets.com/reports/6083839/biosurfactants-market-type-source-distribution>. Acesso em: 04 fev. 2025.

RESEARCH AND MARKETS. **Cosmetics Market Report and Forecast 2023-2028**. Dublin: Research and Markets, 2023. Disponível em: <https://www.researchandmarkets.com/reports/5889201/cosmetics-market-report-forecast>. Acesso em: 19 jun. 2025.

RESEARCH AND MARKETS. **Cosmetics Market Size, Competitors & Forecast to 2032**. Dublin: Research and Markets, set. 2024. Disponível em: <https://www.researchandmarkets.com/report/cosmetics>. Acesso em: 04 fev. 2025.

RETNANINGRUM, Endah; WILOPO, Wahyu. **Production and characterization of biosurfactants produced by *Pseudomonas aeruginosa* B031 isolated from a hydrocarbon phytoremediation field**. *Biotropia: The Southeast Asian Journal of Tropical Biology*, Yogyakarta, v. 25, n. 2, set. 2018. DOI: 10.11598/btb.2018.25.2.808. Disponível em: <https://doi.org/10.11598/btb.2018.25.2.808>.

RINCÓN-FONTÁN, Myriam; RODRÍGUEZ-LÓPEZ, Lorena; VECINO, Xanel; CRUZ, José M.; MOLDES, Ana B. **Design and characterization of greener sunscreen formulations based on mica powder and a biosurfactant extract**. *Powder Technology*, [S.l.], v. 327, p. 442–448, 1 mar. 2018. DOI: 10.1016/j.powtec.2017.12.093. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.12.093>.

RINCÓN-FONTÁN, Myriam; RODRÍGUEZ-LÓPEZ, Lorena; VECINO, Xanel; CRUZ, José M.; MOLDES, Ana B. **Influence of micelle formation on the adsorption capacity of a biosurfactant extracted from corn on dyed hair**. *RSC Advances*, Cambridge, v. 7, n. 27, p. 16444–16452, 14 mar. 2017. DOI: 10.1039/C7RA01351E. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/C7RA01351E>.

ROMANOWSKI, P.; SCHUELLER, R. **Beginning Cosmetic Chemistry**. 3. ed. Carol Stream: Allured Publishing Corporation, 2010.

SANTOS, Danyelle Khadydja F. et al. **Biosurfactants: multifunctional biomolecules of the 21st century.** *International Journal of Molecular Sciences*, Basel, v. 17, n. 3, p. 401, 2016. DOI: 10.3390/ijms17030401. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/17/3/401>. Acesso em: 1 jun. 2025.

SECTES/CEDEPLAR. Metodologia de Prospecção Tecnológica - Projeto Oportunidades ao Desenvolvimento Sócio-Econômico e Desafios da Ciência, Tecnologia e da Inovação em Minas Gerais. Belo Horizonte-MG: Junho de 2009.

SHEIKHZADEH, N.; RAHIMI, M.; KARAMI, S. **Isolation and identification of biosurfactant producing bacterial strain from saline soil samples in Iran: Evaluation of factors on biosurfactant production.** *Journal of Environmental Management*, v. 288, p. 112457, 2021. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.112457. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112457>.

SILVA, Renata R.; CALDAS, Maria C. F.; LIMA, Carlos V. A. et al. **Production, Characterization and Application of Biosurfactant for Cleaning Cotton Fabric and Removing Oil from Contaminated Sand.** *Processes*, Basel, v. 12, n. 11, p. 2584, nov. 2024. DOI: [10.3390/pr12112584](https://doi.org/10.3390/pr12112584).

SINGH, Aarti; KUMAR, Pradeep; SINGH, Bhupendra et al. **Cookies and Muffins containing biosurfactant: textural, physicochemical and sensory analyses.** *Journal of Food Science and Technology*, [s.l.], v. 60, n. 10, p. 4305–4316, out. 2023. DOI: [10.1007/s13197-023-05745-9](https://doi.org/10.1007/s13197-023-05745-9).

SOARES, Angélica Ribeiro; ANDRADE, Juliano Camurça de; LACERDA, Caroline Dutra et al. **Synthesis of Polymeric Nanoparticles Using Fungal Biosurfactant as Stabilizer.** *Processes*, Basel, v. 12, n. 12, p. 2739, dez. 2024. DOI: [10.3390/pr12122739](https://doi.org/10.3390/pr12122739).

SOCKETT, Kaitlynn A.; LOFFREDO, Madeline; KORUNES-MILLER, Jenny et al. **Synthesis and characterization of carbohydrate-based biosurfactant mimetics.** *Carbohydrate Research*, Oxford, v. 522, p. 108697, dez. 2022. DOI: [10.1016/j.carres.2022.108697](https://doi.org/10.1016/j.carres.2022.108697).

SZAFERSKI, Waldemar; MITKOWSKI, Piotr T.; JANCZAREK, Marcin. **Production of cosmetic emulsions based on plant biocomponents.** *Chemical and Process Engineering: New Frontiers*, Varsóvia, v. 44, n. 4, p. e42, nov. 2023. DOI: [10.24425/cpe.2023.147401](https://doi.org/10.24425/cpe.2023.147401).

TEIXEIRA, Luciene Pires. **Prospecção tecnológica: importância, métodos e experiências da Embrapa Cerrados**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2013. 34 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 317). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/981247/1/doc317.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2025.

TIGRE, P. **Gestão da Inovação**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

TWIGG, Matthew S.; ADU, Simms A.; SUGIYAMA, Suguru et al. **Mono-rhamnolipid biosurfactants synthesized by *Pseudomonas aeruginosa* detrimentally affect colorectal cancer cells**. *Pharmaceutics*, Basel, v. 14, n. 12, p. 2799, dez. 2022. DOI: [10.3390/pharmaceutics14122799](https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14122799).

UNESCO. **Relatório de Ciência da UNESCO: a corrida contra o tempo por um desenvolvimento mais inteligente**. Paris: Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura, 2021. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000377250>. Acesso em: 7 jul. 2025.

VALKENBURG, André D.; TEKE, George M.; POTT, Robert W. M. et al. **The fed-batch production of mannosylerythritol lipids by *Ustilago maydis* DSM 4500 from hydrophilic carbon sources**. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, Toronto, v. 47, n. 12, p. 2043–2054, dez. 2024. DOI: [10.1007/s00449-024-03084-3](https://doi.org/10.1007/s00449-024-03084-3).

VECINO, Xanel; RODRÍGUEZ-LÓPEZ, Lorena; FERREIRA, Débora; CRUZ, José M.; MOLDES, Ana B.; RODRIGUES, Lúcia R. **Bioactivity of glycolipopeptide cell-bound biosurfactants against skin pathogens**. *International Journal of Biological Macromolecules*, [S.l.], v. 109, p. 971–979, 2018. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2017.11.088. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.088>.

VENIL, C. K.; MALATHI, M.; DEVI, P. R. **Characterization of *Dietzia maris* AURCCBT01 from oil-contaminated soil for biodegradation of crude oil**. 3 *Biotech*, [S.l.], v. 11, p. 291, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13205-021-02807-7>. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13205-021-02807-7>.

WU, Zhen; LI, Jun; WANG, Yuting et al. **Fabrication and characterization of lipopeptide biosurfactant-based electrospun nanofibers for use in tissue**

engineering. *International Journal of Pharmaceutics*, Amsterdam, v. 645, p. 123172, set. 2023. DOI: [10.1016/j.pharma.2023.08.008](https://doi.org/10.1016/j.pharma.2023.08.008).

XU, Ruiqi; MA, Ling; CHEN, Timson; WANG, Jing. **Sophorolipid suppresses LPS-induced inflammation in RAW264.7 cells through the NF- κ B signaling pathway.** *Molecules*, Basel, v. 27, n. 15, p. 5037, ago. 2022. DOI: [10.3390/molecules27155037](https://doi.org/10.3390/molecules27155037).

YOKOYAMA, Rei; TAKAI, Akihiko; YAMAGUCHI, Yasushi et al. **Acid-form Sophorolipids Exhibit Minimal Cytotoxicity, Similar to Solvents and Oils Used in Personal Care Products, despite Being Surfactants.** *Journal of Oleo Science*, [s.l.], v. 72, n. 6, p. 617–627, 2023. DOI: [10.5650/jos.ess23259](https://doi.org/10.5650/jos.ess23259).am
